



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE PROBETAS DE ROCA A COMPRESION SIMPLE A DISTINTAS TEMPERATURAS**

Trabajo realizado por:

***Enrique Esteban González Rauter***

Dirigido:

***Jorge Castro González***

***Jon Justo Urrutia***

Titulación:

**Grado en Ingeniería Civil**

Mención:

**Construcciones Civiles**

Santander, febrero 2020

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

En este espacio quiero agradecer en primer lugar a mis padres Enrique Gonzalez y Frida Rauter, por darme la oportunidad de estudiar y poder finalizar mis estudios aquí en Santander.

A mi hermano por siempre apoyarme y enseñarme la perseverancia en la vida sobre todo en los estudios.

A mi familia y amigos de Chile y Santander, por siempre tenerme presente y hacer de esta estancia de estudios en Santander no tan lejana de lo que es realmente desde Valparaíso, Chile.

Al profesor director de TFG Jorge Castro, quien tuvo la paciencia y tiempo en mis entregas y cuando yo me explicaba en chileno, él lograr entenderme. A Jon Justo, por compartirme su conocimiento sobre parte de su doctorado y dejarme participar en una pequeña parte y realizar mi TFG.

No quiero olvidar al profesor Juan Palma de la PUCV, por darme el primer contacto con el grupo geotecnia en la UNICAN, y por siempre estar disponible para cualquier consulta que tuviera a lo largo de mis años en la escuela de Ingeniería en Construcción de la PUCV. Y al profesor Jorge Rodríguez por preocuparse desde el primer día que llegamos a Santander hasta cuando ya estábamos de regreso en Chile, en lo que son los estudios y el día a día en Santander.



**TITULO:** “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE PROBETAS DE ROCA A COMPRESION SIMPLE A DISTINTAS TEMPERATURAS”

**AUTOR:** ENRIQUE ESTEBAN GONZÁLEZ RAUTER

**DIRECTORES:** JORGE CASTRO GONZÁLEZ  
JON JUSTO URRUTIA

**TITULACIÓN:** GRADO EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN EN  
CONSTRUCCIONES CIVILES

**Palabras clave:** Mecánica de rocas, mármol, arenisca, caliza,  
módulo de Young, coeficiente de Poisson, resistencia a  
compresión simple, porosidad, humedad.

## **RESUMEN**

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en el análisis de parámetros mecánicos acotados a la resistencia a compresión simple de 4 tipos de rocas a 4 distintas temperaturas, las 4 rocas son el “Mármol Macael”, “Mármol Carrara”, “Arenisca Floresta”, “Caliza Moleano” y por otro lado las 4 temperaturas a ensayar son 23, 70, 150 y 250 [°C].

Para la correcta realización de los ensayos y posterior análisis, se realizó un levantamiento de información determinando alcances de trabajo y metodología, presentando en este informe dentro del estado de arte, definiciones y conceptos relacionados a la mecánica de roca y propiedades mecánicas, para luego especificar y detallar resistencia a compresión simple, módulo de Young y coeficiente de Poisson, y destacar detalles y propiedades de los 4 tipos de rocas.

Otro lado importante del levantamiento de información fue encontrar la normativa correcta que estandarizara el procedimiento desde la extracción, a la rotura de la roca durante el ensayo de compresión simple, para este TFG se utilizaron 4 normativas que se presentan en el capítulo 1. Introducción, subcapítulo 1.3. Alcances, estas normativas se utilizaron solo como referencias, ya que ninguna considera las altas temperaturas de ensayo, por ende, por temas de manipulación por seguridad y disposición de elementos, en algunos casos se asumieron procedimientos los cuales todos están detallados en su capítulo correspondiente.



Realizado el ensayo, se toman los datos de deformación porcentual y sus respectivas resistencias y se obtuvieron los módulos de Young, coeficiente de Poisson y resistencia a compresión simple en cada una de las probetas ensayadas, alcanzando un número total de 120 ensayos, luego con estos parámetros se obtienen los promedios y tablas resúmenes por roca y temperatura.

Con lo anterior realizado se procedió al tratamiento estadístico especificado en la normativa, identificando un límite inferior en las resistencias a compresión simple y módulo de Young obtenidos estadísticamente, para luego realizar el análisis de tendencia, identificando y presentando el comportamiento mecánico de las rocas al ir aumentando las temperaturas, por medio de gráficos y ecuaciones de tendencia. Terminando con un análisis final de datos, realizando una razón entre módulo de Young y resistencia a compresión simple, cruzando esta razón con los 4 tipos de temperatura, observando como varía esta relación Young y resistencia a compresión simple, sabiendo que la resistencia como el módulo de Young tienen un comportamiento directamente proporcional al alza de temperaturas.

Todo finaliza en la conclusión, tomando 3 puntos de análisis, uno es el análisis de datos estadísticos, aplicando estadística y presentando ecuaciones de tendencia. Otro punto fue considerar los orígenes, composición y propiedades de las rocas ensayadas, entendiendo su comportamiento mecánico a partir de este conocimiento. Por último, se presenta una conjetura basada en los indicios obtenidos en todo este TFG, dando a conocer como posiblemente el porcentaje de poros y humedad son capaces de alterar o causar variaciones en el comportamiento mecánico de las rocas.



***TITLE: "STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH ROCK SAMPLES, TO DIFFERENT TEMPERATURES"***

***AUTHOR: ENRIQUE ESTEBAN GONZÁLEZ RAUTER***

***DIRECTORS:*** JORGE CASTRO GONZÁLEZ  
JON JUSTO URRUTIA

***DEGREE: DEGREE IN CIVIL ENGINEERING MENTION IN CIVIL CONSTRUCTIONS***

***Keywords: Rock mechanics, marble, sandstone, limestone, Young's modulus, Poisson's ratio, unconfined compressive strength, porosity, water content.***

## ***ABSTRACT***

This Final Degree Project consists of the analysis of mechanical parameters limited to the unconfined compressive strength of 4 types of rocks at 4 different temperatures, the 4 rocks are the "Macaél Marble", "Carrara Marble", "Floresta Sandstone", "Moleano limestone" and on the other side the 4 temperatures to be tested are 23, 70, 150 and 250 [°C].

For the correct conduct of the tests and subsequent analysis, an information survey was carried out determining scopes of work and methodology, presenting in this report within the state of art, definitions and concepts related to the mechanics of rock and mechanical properties, then specify and detail unconfined compressive strength, Young's modulus and Poisson's ratio, and present details and properties of the 4 types of rocks.

Another important side of the information survey was to find the correct regulations that standardized the procedure from extraction, to rock breakage during the unconfined compressive strength test, for this TFG 4 regulations were used that are presented in the Chapter 1. Introduction, subchapter 1.3. Scopes, these regulations were used only as references, since none considers the high-test temperatures, therefore, for reasons of handling by safety and disposition of elements, in cases procedures were assumed which are all detailed in the corresponding chapter.

Having carried out the test, the percentage deformation data and their respective



strength were taken and Young's modulus, Poisson's ratio and unconfined compressive strength were obtained in each of the tested specimens, reaching a total of 120 trials , then with these parameters you get the averages and tables summaries by rock and temperature.

With the above carried out the statistical treatment specified in the regulations, identifying a lower limit in the unconfined compressive strength and Young's modulus obtained statistically, and then performing the trend analysis identifying and presenting the mechanical behaviour of rocks as temperatures increase through graphs and trend equations. Ending with a final analysis of data, in which more data is crossed, performing a ratio between Young module and unconfined compressive strength, crossing this reason with the 4 temperature types, observing how this Young's modulus ratio varies and unconfined compressive strength knowing that strength like Young's modulus has a behaviour directly proportional to rising temperatures.

It all ends in the conclusion, taking 3 points of analysis, one is the analysis of statistical data, applying statistics and presenting trend equations. Another point was to consider the origins, composition and properties of the tested rocks, understanding their mechanical behaviour from this knowledge. Finally, there is a conjecture based on the indications obtained throughout this TFG, making known as possibly the percentage of porosity and water content are able to alter or cause variations in the mechanical behaviour of the rocks.



## **INDICE**

### **RESUMEN**

### **ABSTRACT**

### **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
1.1.    Objetivo general	10
1.2.    Objetivos específicos	10
1.3.    Alcances	10
1.4.    Metodología	11
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>13</b>
2.1.    Mecánica de rocas	13
2.1.1.    Tensor de deformaciones	15
2.1.2.    Ensayo de laboratorio y parámetros de rocas	16
2.2.    Presentación de información	21
2.3.    Método de cálculo	22
<b>3. ELEMENTOS Y ACONDICIONAMIENTO</b>	<b>24</b>
3.1.    Elementos	24
3.1.1.    Prensa y horno	24
3.1.2.    Bandas extensométricas	24
3.1.3.    LVDT	25
3.1.4.    Aparato de frecuencia	26
3.2.    Materiales de estudio	27
3.2.1.    Mármol Macael	28
3.2.2.    Caliza Moleano	29
3.2.3.    Arenisca Floresta	30
3.2.4.    Mármol Carrara	32



<b>3.3. Acondicionamiento</b>	<b>34</b>
<b>4. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE</b>	<b>36</b>
4.1. Consideraciones previas	37
4.2. Ensayo a compresión simple	39
4.3. Post rotura	40
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADO</b>	<b>41</b>
5.1. Análisis de datos	42
5.2. Tratamiento estadístico	46
5.3. Análisis de tendencia	52
5.4. Análisis final de datos	62
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>70</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>72</b>





## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Dentro del área de la ingeniería civil se utilizan distintos materiales, los cuales cuentan con distintas características que los diferencian de entre sí, el conocimiento de estas características es uno de los objetivos de la ingeniería civil, ya que lograr optimizar la cantidad de material y su uso correcto ante agentes solicitantes dentro de las estructuras proyectadas, es esencial para su diseño y construcción. Así, estas características de los materiales deben ser foco de estudio e investigación con el fin de conocer los materiales y de esta forma dar un uso correcto a los distintos materiales.

Las propiedades de los materiales, son los grupos de características que determinan el comportamiento de los materiales ante distintos agentes solicitantes. Las propiedades se clasifican en tres grandes grupos, físicas, químicas y ecológicas. En el primer grupo se visualizan las propiedades mecánicas, de las que se logran obtener una gran cantidad de definiciones y datos numéricos que tienen gran relevancia en términos de diseño en proyectos civiles.

Existen materiales como el hormigón de cemento o el bituminoso, donde sus propiedades mecánicas son definidas por las características de sus componentes como por las cantidades utilizadas de cada uno de ellos o condiciones externas de mezclado y vertido. Por otro lado, tenemos el suelo y la roca, donde sus propiedades mecánicas están definidas por su naturaleza mineralógica, tamaño de partículas, el contacto o unión que existe entre partículas, y el estado tensional en el que se encuentre.

Para este trabajo de fin de grado, se estudiarán las propiedades mecánicas de la roca, en específico se evaluará la resistencia a compresión de la roca a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, en un rango entre 23 [°C] a 250 [°C], temática motivada por una problemática que existe dentro del área de la geotermia, donde la roca además de estar sometida a distintos esfuerzos, se encuentra a temperaturas superiores a la ambiente, a causa de las altas profundidades a la que se encuentran, temperaturas que pueden afectar al estado tensional de la roca, luego de ser perforada.

Lograr un conocimiento práctico de la resistencia a compresión simple de la roca



sometida a escalones de altas temperaturas es un motivante para la realización del presente trabajo, en el cual se busca específicamente obtener resistencias a compresión simple de 4 tipos distintas de rocas a 4 distintas temperaturas, con el fin de lograr identificar por medio de comparativas, la variabilidad de sus límites elásticos, módulos y coeficientes, al ir incrementando las temperaturas desde una temperatura ambiente hasta 250°C.

Para ello se trabajará con una prensa de compresión simple en la que se ha acoplado un horno y se analizarán cuatro tipos de rocas seleccionadas para este Trabajo de Fin de Grado (TFG) por la información teórica y práctica previamente trabajada dentro del grupo de geotecnia UNICAN. Estas probetas son ensayadas siempre con una probeta de compensación que se encuentra en las mismas condiciones de acondicionamiento y temperatura durante el ensayo, pero no sometida a variaciones tensionales producto de la prensa.

Este TFG se encuentra dentro del marco del convenio de doble titulación entre el E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria y la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, logrando la obtención al finalizar este convenio del Grado de Ingeniería Civil mención en Construcciones Civiles (UNICAN) y el título profesional de Ingeniero en Construcción (PUCV).

Por lo anterior, para el desarrollo de este TFG, se aplicaron conocimientos adquiridos durante el estudio del Grado y Título en ambas universidades, y aplicando conocimientos nuevos relacionados con la realización de ensayos de laboratorio e investigación en el ámbito de la Mecánica de Rocas.

Al ser un TFG que como se menciona con anterioridad está dentro de un marco de convenio de dos universidades, es que para la dirección o tutela se trabajó principalmente con el Grupo Geotecnia y sus instalaciones de la UNICAN, pero a la vez con la guía y colaboración del Grupo Geotecnia de la PUCV, específicamente con el Prof. Dr. Juan Palma González, a causa del interés de fortalecer relaciones de trabajos y estudios, y la responsabilidad de asistir por ambas partes el buen desarrollo de este TFG.



y cumplir con los requisitos de ambos sitios.

Los objetivos de este TFG se presentan a continuación, en primer lugar el objetivo general y posteriormente los objetivos específicos.:

### **1.1. Objetivo general.**

- Estudiar el comportamiento mecánico de probetas de roca en compresión simple con galgas extensométricas a temperaturas en un rango de 23 [°C] a 250 [°C]

\*se realiza bajo este rango de temperatura, ya que es el habitual en aplicaciones geotérmicas.

### **1.2. Objetivos específicos.**

- Determinar resistencias a compresión simple de las distintas rocas a 4 temperaturas en el rango de 23 a 250 [°C].
- Determinar parámetros de deformación para cada probeta por medio de gráficos Tensión-Deformación.
- Determinar de manera porcentual y grafica la variación de los parámetros de deformación y resistencia.
- Definir la influencia de la temperatura en cada tipo de rocas.

### **1.3. Alcances.**

Por medio de la descripción de un breve estado de arte o marco teórico se busca contextualizar la información y términos técnicos asociados al ensayo y sus parámetros a obtener, así como también dar a conocer las investigaciones asociadas al objetivo general de este trabajo de final de grado, así como también a la temática a trabajar.

Para el ensayo y la obtención de parámetros se tomarán como referencia las siguientes normas:



Resistencia a compresión simple:

- [3]UNE-EN-1926-2006 Determinación de la resistencia a la compresión.
- [4]UNE-22950-1990 Ensayo determinación resistencia Parte 1: Resistencia a compresión Uniaxial.

Determinación de módulo de elasticidad:

- [5]UNE-EN-14580-2006 Determinación del módulo elasticidad estática.
- [6]UNE-22950-1990 Ensayo determinación resistencia Parte 3: Modulo de elasticidad.

Se tomarán 2 normas como referencia para el ensayo y para obtención de parámetros, estas normas son similares, pero se diferencian en su enfoque en el tipo de roca, pero con respecto a procedimiento y consideraciones de ensayo y cálculo son iguales.

#### **1.4. Metodología.**

La metodología a utilizar durante el presente estudio se basará en:

- Revisión y estudio de bibliografía existente sobre la mecánica de rocas.
- Identificación y estudio de investigaciones relacionadas.
- Extracción de probetas y acondicionamiento de las mismas.
- Ensayo de compresión simple.
- Obtención de tensión de rotura y parámetros de deformación.
- Tratamiento estadístico de las tensiones bajo normativa.
- Obtener de tablas resúmenes y gráficos ecuaciones de tendencia que estimen un valor de resistencia dependiente de la temperatura.



- Análisis de los resultados obtenidos con comparativas entre muestras y bibliografía.



## **2. ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo se presentará términos y definiciones con los cuales se logre una correcta lectura de este documento, como también se darán a conocer los temas que argumentarán el objetivo general del presente documento.

### **2.1. Mecánica de rocas**

La mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada al comportamiento mecánico de rocas y macizos rocosos, esta ciencia pertenece a la geomecánica, que es el estudio geológico del suelo rocas.

Una roca según la Real Academia de la Lengua Española se define en términos geológicos como: “Material sólido de origen natural, formado por una asociación de minerales o por uno solo que constituye una parte importante de la corteza terrestre”.

Las rocas definidas como un material, presentan una mayor resistencia que los suelos, en conceptos de resistencia a compresión simple de forma comparativa con el suelo, un terreno con una resistencia mayor o igual a 1 [MPa] puede considerarse como roca, esta elevada resistencia se ve afectada por planos de discontinuidad, los cuales están asociados a la estratificación, esquistosidad o fracturas de tracción o de corte.

Al analizar una roca a gran escala donde se logra considerar la discontinuidad, la rigidez y resistencia se apreciará de mejor manera que al someter el mismo tipo de roca en una probeta para un laboratorio. De lo anterior se deben definir los siguientes conceptos:

- Matriz rocosa: No es afectada por las discontinuidades. (caso probeta de laboratorio)
- Macizo rocoso: Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades.



Para el estudio del presente documento solo se mencionará los parámetros para la descripción de un macizo rocoso que se presentan en la figura 2.1. y en el caso de la matriz rocosa se definirán los conceptos relacionados, ya que, para motivos de este informe la mayor información va a estar relacionada con la matriz rocosa y su comportamiento mecánico, para la correcta evaluación de los resultados de los ensayos.

<b>1.- ORIENTACION</b> $\alpha$ =Dirección de buzamiento $\pm$ 5% $\beta$ =Buzamiento $\pm$ 1%				<b>2.- ESPACIAMIENTO</b> E1 sumamente pequeño $\leq$ 20 mm E2 muy pequeño 20 - 60 mm E3 pequeño 60 - 200 mm E4 moderado 200 - 600 mm E5 grande 600 - 2000 mm E6 muy grande 2000 - 6000 mm E7 sumamente grande > 6000 mm				<b>3.- CONTINUIDAD</b> C1 muy baja < 1 m C2 baja 1 - 3 m C3 media 3 - 10 m C4 alta 10 - 20 m C5 muy alta > 20 m							
<b>4.- RUGOSIDAD</b> Esc.Interm (m) Pequeña esc. (cm) Rugosa Lisa Pulida Plano R7 R8 R9 Ondulado R4 R5 R6 Escalonado R1 R2 R3				<b>5.2.- GRADO DE METEORIZACION. MACIZO ROCOSO</b>  I - Sana No hay signos visibles de meteorización. Si acaso una débil decoloración en las principales superficies de discontinuidad  II - Débilmente meteorizada La decoloración indica una meteorización de la roca matriz y de las discontinuidades. Todo el medio rocoso puede estar decolorado y ser algo más débil externamente que en su condición sana  III - Moderadamente meteorizada Menos de la mitad del material está descompuesto y/o desintegrado hasta la condición de suelo. Aparece roca sana o decolorada, ya sea de forma continua o en zonas aisladas  IV - Muy meteorizada Más de la mitad del material está descompuesto y/o desintegrado hasta la condición de suelo. Aparece roca sana de modo discontinuo  V - Completamente meteorizada Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada. La estructura original está intacta.  VI - Suelo residual Todo el material se ha transformado en suelo y la estructura original se ha destruido. Hay un gran cambio de volumen pero el suelo no ha sufrido transportes significativos											
<b>5.1.- RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE</b> S0 Roca extremadamente débil Arañada con la uña del pulgar S1 Roca muy débil Se desmenuza con golpes de la punta del martillo geol. y se puede descascarillar con la navaja S2 Roca débil Se descascarilla con la navaja con dific. Se araña superf. Con la punta del martillo geológico S3 Roca medianamente resistente No se descascarilla con la navaja Se puede romper un trozo con un golpe de martillo geológico S4 Roca resistente Se necesita más de un golpe del martillo geológico S5 Roca muy resistente Se necesitan muchos golpes para romper un trozo  S6 Roca extremadamente resistente. Un trozo sólo puede astillarse con el martillo				<b>7.- RELLENO</b> - Tipo de relleno - Grado de meteorización - Tamaño de partículas - Mineralogía - Propiedades de identificación  - Resistencia del relleno: Grado Descripción Identificación del campo D1 Arcilla muy blanda Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño D2 Arcilla blanda Fácil. Penetr. varias pulgadas con el pulgar D3 Arcilla firme Penetr. varias pulg. con el pulg. con esfuerzo mod. D4 Arcilla rígida Se deja marca con el pulg. pero con gran esfuerzo D5 Arcilla muy rígida Se puede dejar marca con la uña del pulgar D6 Arcilla dura Idem, pero con gran dificultad											
<b>6.- APERTURA</b> A1 Muy apretada < 0.1 mm A2 Apretada 0.1 - 0.25 mm A3 Parcialmente abierta 0.25 - 0.5 mm A4 Abierta 0.5 - 2.5 mm A5 Moderad. Ancha 2.5 - 10 mm A6 Ancha 10 mm A7 Muy ancha 1 - 10 cm A8 Extremad. Ancha 10 - 100 cm A9 Cavernosa > 1 m				<b>9.- NUMERO DE FAMILIAS</b>  Masiva, con juntas aleatorias. Una familia de juntas. Una familia de juntas con algunas aleatorias Dos familias de juntas Dos familias de juntas y algunas aleatorias Tres familias de juntas Tres familias de juntas y algunas aleatorias Cuatro o más familias de juntas Roca desmenuzada, casi tierra								<b>10.- ESTRUCTURA DEL MEDIO ROCOSO</b>  I Masiva: pocas juntas o espaciado muy ancho. II De bloque: aprox. Equidimensional. III Tabular: una dimensión considerablemente más pequeña que las otras dos.  IV Columnar: una dimensión considerablemente mayor que las otras dos. V Irregular: amplias variaciones del tamaño y forma de bloque VI Desmenuzada: muchas juntas  TAMAÑO DEL BLOQUE DESCRIPCION Jv (Juntas/m3) Bloques muy grandes > 1 Bloques grandes 1 - 3 Bloques medianos 3 - 10 Bloques pequeños 10 - 30 Bloques muy pequeños < 30			
<b>8.- FILTRACION</b> F1 La discontinuidad está muy cementada y seca; el flujo de agua no parece posible. F2 La discontinuidad está seca sin evidencias de flujo de agua. F3 Está seca pero muestra evidencias de flujo de agua, es decir, manchas de moho, etc. F4 Está húmeda pero no hay agua presente. F5 Muestra filtración y goteos ocasionales pero no flujo continuo. F6 Muestra un continuo flujo de agua (Estimarlo en v mm. y describir la presión como baja, media o alta)															

Figura 2.1. Descripción y clasificación de macizos rocosos.

Fuente. ISRM, 1978.



### 2.1.1. Tensor de deformaciones.

El concepto de tensión definido de manera general y simple es una carga dividida por el área sobre la cual actúa, las tensiones que actúan en un plano pueden tener 2 componentes, normal o corte, perpendicular o paralelo a la superficie respectivamente [8].

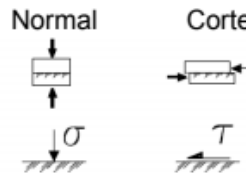


Figura 2.2. Componentes normal y corte.

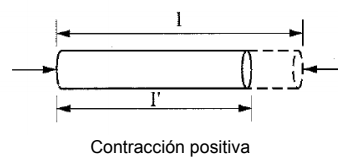
Fuente. [8] Catedra mecánica de rocas, Ing. Civil en minas, U. de Chile.

La deformación por otro lado es el cambio en la configuración de puntos dentro de un sólido, existen dos teorías:

- Deformación finita.
- Deformación infinitesimal.

Ambas relevantes, pero para desplazamientos pequeños se puede utilizar el concepto de la deformación infinitesimal, desarrollando un tensor de deformación análogo al tensor de tensiones. La deformación se puede señalar como un desplazamiento normalizado. Siguiendo la premisa de que un elemento sometido a una variación de su estado tensional se deforma, la magnitud de esta deformación dependerá de las propiedades mecánicas del elemento y de la magnitud de las variaciones tensionales aplicadas. Su definición de cálculo en su forma más sencilla es la razón entre el desplazamiento y la longitud no deformada, normalmente expresado de manera porcentual.





$$\varepsilon = \frac{l - l'}{l}$$

Figura 2.3. Formulación y gráfica de cálculo de deformación.

Fuente. [8] Catedra mecánica de rocas, Ing. Civil en minas, U. de Chile.

### 2.1.2. Ensayo de laboratorio y parámetros de rocas.

En un inicio se definen dos términos importantes que se utilizan dentro de estos ensayos como lo son la precisión y exactitud, el primero se define como la dispersión del conjunto de valores que se obtienen de mediciones repetitivas de una magnitud, por ende, a menor dispersión existe una mayor precisión, en el caso del segundo término, la exactitud se refiere a la cercanía que tiene el valor medido con respecto del valor real.

La Tabla 2.1 y la Figura 2.1 muestran un ejemplo, elegido de manera arbitraria, del significado de exactitud y precisión. Esta tabla y figura están los valores obtenidos, el valor promedio y el real esperado, la precisión corresponde a la razón entre el valor de ensayo y el promedio y la exactitud es con respecto al valor real esperado, para este caso la exactitud es del 30 [%] y en la precisión tenemos valores sobre el promedio de un 99 [%] y bajo del promedio de un 72 [%]. En este ejemplo se trabajan con valores adimensionales, ya que solo se busca explicar de manera numérica los conceptos definidos con anterioridad.



	valores de ensayo	valor promedio	valor real esperado	Precisión	Precisión %	Exactitud
1	3	10,5	15	-7,5	-72%	4,5
2	4	10,5	15	-6,5	-62%	4,5
3	10	10,5	15	-0,5	-5%	4,5
4	15	10,5	15	4,5	42%	4,5
5	13	10,5	15	2,5	23%	4,5
6	11	10,5	15	0,5	4%	4,5
7	5	10,5	15	-5,5	-53%	4,5
8	9	10,5	15	-1,5	-15%	4,5
9	8	10,5	15	-2,5	-24%	4,5
10	7	10,5	15	-3,5	-34%	4,5
11	21	10,5	15	10,5	99%	4,5
12	16	10,5	15	5,5	52%	4,5
13	12	10,5	15	1,5	14%	4,5
14	16	10,5	15	5,5	52%	4,5
15	8	10,5	15	-2,5	-24%	4,5
					Exactitud %	30%

Tabla 2.1. Tabla ejemplo Exactitud/Precisión.

Fuente. Confección propia.

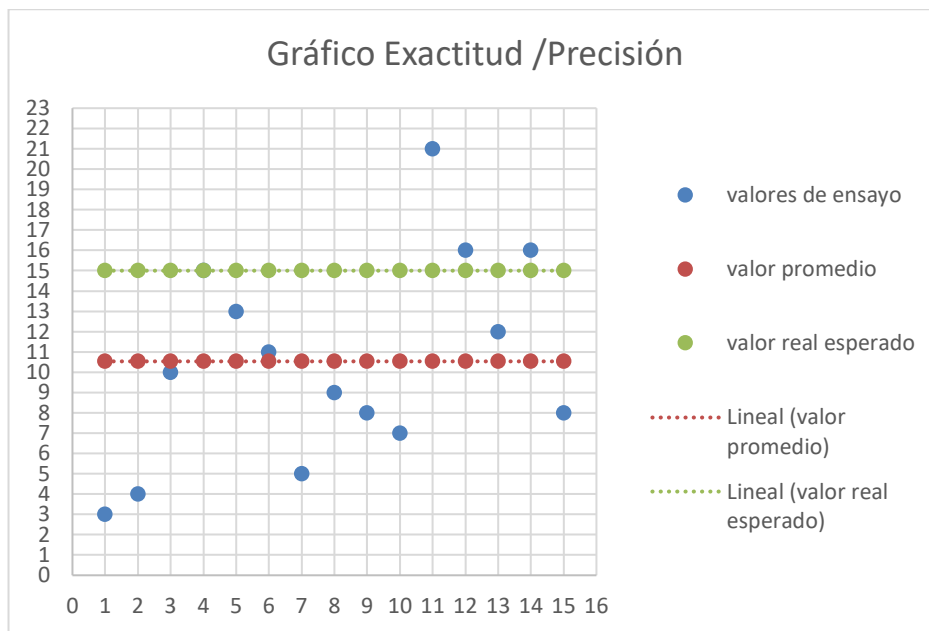


Gráfico 2.1. Gráfico ejemplo Exactitud/Precisión.

Fuente. Confección propia.

Para el caso de este ensayo en el caso de la precisión pueden influir las propiedades



de la roca y sus tolerancias geométricas, para el caso de la exactitud las anteriores también son un factor, pero la manipulación humana y errores de procedimiento logran ser un factor muy importante en la inexactitud del ensayo.

Como se mencionó anteriormente las rocas se dividirán en dos conjuntos, uno de ellos sería el macizo rocoso, la cual cuenta con discontinuidades e irregularidades y por otro lado la matriz rocosa o roca intacta, que no cuenta con discontinuidades las cuales puedan influir en la cinemática de su ruptura.

Los ensayos en rocas intactas, nos permiten identificar y clasificar la matriz rocosa, por ende, parte esencial en la información y diseño. Se obtienen las características de resistencia y rigidez, degradación y durabilidad. Utilizado en la evaluación del macizo rocoso y útil para la descripción cuantitativa de la roca.

Existen ensayos de índices y mecánicos, en la de los de índice se obtienen los siguientes parámetros normalmente:

- Durabilidad.
- Peso unitario.
- Saturación.
- Porosidad.
- Contenido de humedad.
- Velocidad ultrasónica.

Para el caso de los ensayos mecánicos, existen los siguientes entre otros:

- Tracción directa.
- Ensayo brasileño (tracción indirecta).
- Compresión simple (uniaxial directo).



- Carga puntual, martillo Schmidt (uniaxial indirecto).
- Triaxiales.
- Uso de galgas extensométricas en ensayos de compresión uniaxial o triaxial para obtención de parámetros de deformación.

En el caso de los índices, se debe tener claro el concepto de sistema trifásico, es decir, que en la roca al igual que en el suelo, en su interior se puede encontrar sólido, líquido y gas en otras palabras roca, agua y vacío o gas, respectivamente.

- Porosidad se define como la razón entre la parte vacía o poros y la parte sólida, se mide de manera porcentual, lo que implica que, a mayor cantidad de poros, existe una mayor magnitud de porosidad.
- Peso específico es el peso por la unidad de volumen, en las rocas está relacionado con la mineralogía y constitución de los granos que conforman a la roca.
- Humedad se define como peso de agua entre el peso de sólidos, la saturación es una medida porcentual entre el volumen de agua y volumen de vacío.
- Durabilidad mide la tendencia a degradarse los componentes de la roca al someterse al aire, agua, tiempo entre otros.

Los ensayos mecánicos, están diseñados para recrear modos de falla y condiciones de carga de terreno, en todos los ensayos existe una extracción del material a utilizar, generalmente de canteras, luego viene la toma de los testigos, con una corona adiamantada, y posterior rectificado, para algunos ensayos el testigo se retira con sierra adiamantada, dependiendo de su sección.

Se debe cumplir con esbelteces que viene determinado en la normativa de los ensayos a compresión simple, pero nunca estas salen del rango entre [2,0 a 3,0], entendiendo que esbeltez se define como la ratio entre altura y diámetro de probeta. Por términos y alcances del TFG solo se detallará el ensayo de compresión simple o uniaxial directo.



Como referencia para este procedimiento se tomarán las normas UNE-EN-1926:” Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial” y UNE-22-950-90:” Ensayos para la determinación de la resistencia, Parte 1: Resistencia a la compresión uniaxial”. El procedimiento general de este ensayo consiste en un primer lugar la medición de la probeta, se deben medir 4 alturas y 4 diámetros, luego se coloca la probeta en la prensa, asegurando que entre los apoyos y la probeta no existan partículas que produzcan durante el ensayo una carga no homogénea.

Por ende, para que no suceda lo anterior se debe limpiar la superficie de la placa del equipo de ensayo y retirar cualquier tipo de partículas que se encuentren en la parte inferior y superior de la probeta. Después de limpiar, centrar la probeta en los apoyos, de tal manera que la carga que se aplique se distribuya de forma correcta. Por último, la prensa se coloca a una velocidad de aplicación de carga de 10 [mm/min], hasta llegar a la rotura este a velocidad es la equivalencia de la que se menciona en norma con la prensa de carga que se encuentra en el laboratorio. La norma UNE-EN-1926 Determinación de la resistencia a la Compresión Uniaxial menciona que la velocidad de carga para el ensayo debe ser de 0,5 [MPa/s] con una precisión de 1 [MPa/s]. En este caso todo queda registrado en el software que se tiene en el ordenador.

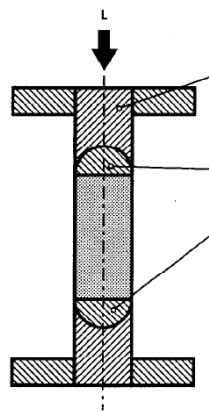


Figura 2.4. Disposición y aplicación de carga en probeta.

Fuente. [4] UNE-22-950-90:” Ensayos para la determinación de la resistencia, Parte 1: Resistencia a la compresión uniaxial”.



## 2.2. Presentación de información.

En este capítulo se presentará información de bibliografía sobre los 4 tipos de rocas, para luego unir características y propiedades por roca, logrando un análisis de las variaciones mecánicas de las rocas con respecto a sus características.

A continuación, se muestra la tabla y grafico correspondiente a la resistencia a tracción de los 4 tipos de roca ensayados para este TFG, pero en este caso a 6 distintas temperaturas [2].

Temperatura [°C]	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]			
	FLORESTA	CALIZA	MACAEL	CARRARA
23	2,84	6,86	9,97	9,16
70	3,25	8,18	7,52	7,26
110	3,82	9,02	6,25	5,9
150	3,17	9,62	4,92	5,67
200	3,3	8,96	4,7	4,08
250	3,55	8,88	4,5	5,00

Tabla 5.13. [2] tabla 2 de la publicación “Notch effect and fracture load predictions of rock beams at different temperatures”.

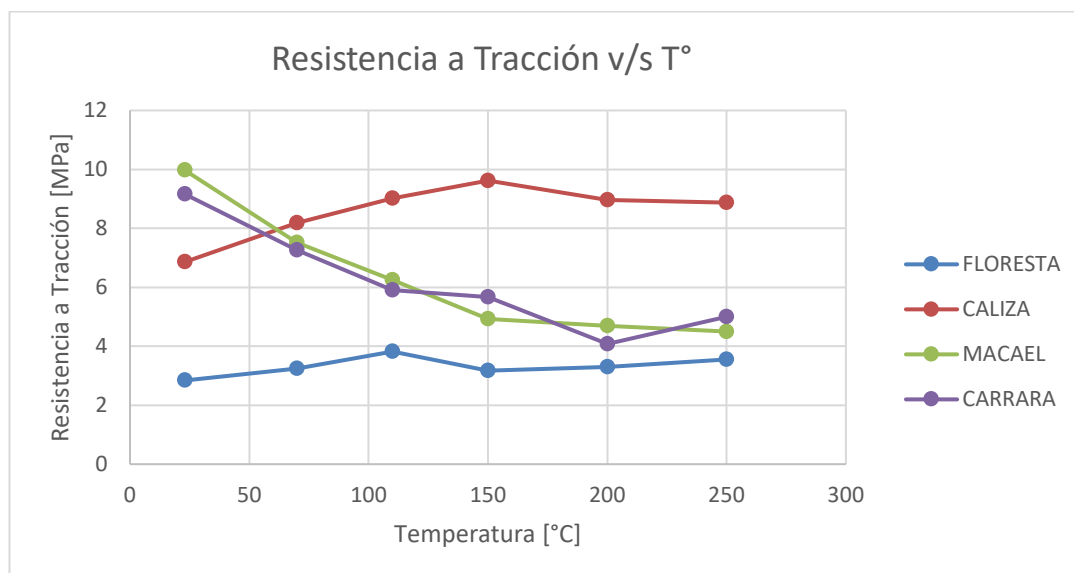


Grafico 5.9. Grafico Resistencia a tracción v/s T°

Fuente. Confección propia.



De esta misma publicación obtenemos una tabla resumen de algunas características de estas rocas:

	TIPOS DE ROCAS			
	FLORESTA	CALIZA	MACAEL	CARRARA
DENSIDAD APARENTE [Kg/m <sup>3</sup> ]	2320	2500	2715	2709
POROSIDAD [%]	16.3	6.4	-	-
ABSORCIÓN [%]	4.8	2.7	0,075	0,15
VALOR MEDIO DEL TAMAÑO DE GRANO [μm]	116	218	335	142
MEDIANA DEL TAMAÑO DE GRANO [μm]	109	183	282	131

Tabla 5.14. [2] tabla 1 de la publicación “Notch effect and fracture load predictions of rock beams at different temperatures”.

### 2.3. Metodología de cálculo.

Por medio del grafico “Tensión – Deformación”, se logra determinar y visualizar distintos datos, como la tensión de rotura y módulo de elasticidad. Para el estudio de este TFG, en el caso de la obtención de módulo de elasticidad se considerarán los limites inferiores y superiores del 50 [%] de los datos centrales, entiéndase como límite inferior los valores equivalentes en deformación al 25 [%] de la resistencia de rotura de la roca y como superior al 75 [%] de está. El coeficiente de Poisson como el promedio de las razones de deformaciones horizontales con verticales del 50 [%] de los datos centrales. La finalidad de utilizar el 50 [%] de datos centrales es para lograr un criterio que logre que la obtención de los parámetros sea homogénea en todos los casos, creando una homogeneidad de criterios para el momento de la obtención de resultados finales y para su posterior análisis.

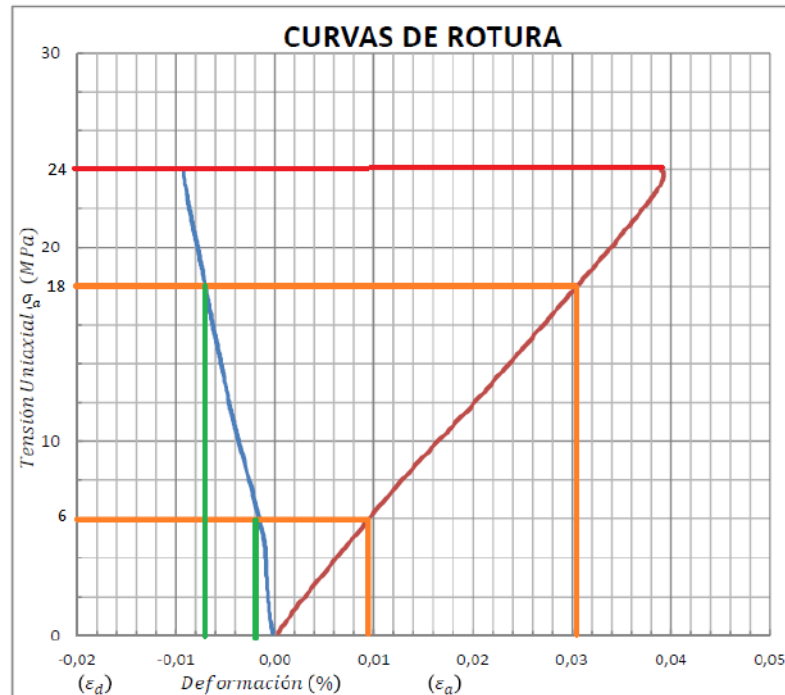


Figura 2.4. Grafico de ejmplo para detallar criterios de obtención.

Fuente. Propia

En la imagen anterior se muestra un gráfico que busca ejemplificar los criterios que tomaron para la obtención de parámetros que en unos capítulos posteriores se mostraran con casos reales. Para comenzar se identifica la tensión de rotura, en este caso son 24 [MPa], el valor se ve en el eje vertical del gráfico, como vamos a utilizar el 50 [%] de los datos centrales, se debe determinar el 25 [%] de y 75 [%] de la tensión de rotura y de esta forma se identifican el límite inferior y superior de datos centrales. Lo anterior en la figura 2.4. este marcado con el color naranjo, señalando valores de tensión, 6 y 18 [MPa] y sus respectivos valores de deformación porcentual. Identificando lo anterior se procede a calcular el módulo de elasticidad con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_{aSUP} - \sigma_{aINF}}{\varepsilon_{aSUP} - \varepsilon_{aINF}} \times \frac{1}{10} [GPa]$$

Los datos se deben ingresar con las siguientes unidades, en el caso de la sigma “a” en [MPa] y las deformaciones en [%]. En este caso se obtiene un módulo de elasticidad igual a 60 [GPa], para obtener el coeficiente de Poisson, se obtiene con el promedio de la razón de deformación horizontal con vertical de todos los datos del 50 [%] de datos centrales.





### **3. ELEMENTOS Y ACONDICIONAMIENTO.**

En este capítulo se expondrá, detallará y graficará con fotografías los elementos que se utilizarán durante todo el procedimiento de esta investigación y el acondicionamiento previo que deben tener para la correcta ejecución del ensayo.

#### **3.1. Elementos.**

##### **3.1.1. Prensa y horno.**

Para poder realizar los ensayos a compresión uniaxial en rocas a distintas temperaturas, se introdujo dentro del horno parte de la prensa (solo los apoyos inferiores y superiores), la célula de carga se encuentra fuera del horno como se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Prensa dispuesta al interior del horno.

Fuente. Imagen propia.

##### **3.1.2. Bandas extensométricas.**

Las bandas extensométricas, deben cumplir con las condiciones a las que se encontrará sometida en estos ensayos, principalmente a las altas temperaturas a las cuales se expondrán las galgas al interior del horno, es por esto, que de igual manera el adhesivo que se aplicará como unión e interfase entre el manto de la probeta con la banda extensométrica deberá cumplir con similares condiciones.



El adhesivo es una resina epoxi, la cual tiene este procedimiento de mezclado y aplicación, para las probetas ensayadas 70 [°C], se utilizó el tipo Z70, el cual es el de curado y aplicación más simple, no se necesita mayores condiciones, se aplica, se coloca las galgas y los pocos minutos esta ya se encuentra pegada, el curado del adhesivo se produce a temperatura ambiente.

Para el caso de las temperaturas de 150 [°C] y 250 [°C], se utilizó un adhesivo diferente que se cura en caliente del tipo EP310N, este último caso consta de 2 componentes y se deben mezclar en proporción detallada en las especificaciones técnicas del adhesivo, 2 partes del componente A y 1 del componente B. Tras su aplicación y colocación de la galga, las probetas son introducidas en un horno a la temperatura a la que posteriormente se ensayarán. El tiempo de curado en el horno dependerá de la temperatura a la que se cure. Una vez alcanzada la temperatura de curado se dejan enfriar las probetas hasta temperatura ambiente.



Figura 3.2. Galga dispuesta, pegada y curada en el horno, para luego soldar el cableado.

Fuente. Imagen propia.

### 3.1.3. LVDT.

La relevancia de este aparato esta principalmente, para tener un dato más que muestre la correcta aplicación de la carga sobre la probeta, al ir observando su línea en el software del ordenador, si no existen grandes variaciones en la gráfica, es un indicio más que indica si el ensayo se realiza de buena manera.



Figura 3.3. LVDT, estando sin calibrar, ubicado para iniciar el ensayo.

Fuente. Imagen propia.

#### **3.1.4. Aparato de frecuencia.**

Este aparato cumple la función de receptor de los datos, que provienen de las variaciones que suceden en las bandas extensométricas al momento de que la probeta comienza con deformaciones por estar siendo sometida a tensiones, el aparato receptor de frecuencia transmite estas variaciones al software del ordenador como deformaciones de la probeta.



Figura 3.4. Aparato de frecuencia receptor.

Fuente. Imagen propia.



### 3.2. Materiales de estudio.

El fin de este apartado es definir los distintos tipos de rocas analizadas en los ensayos realizados, presentando características generales de las rocas y agregando una importancia a su composición y tamaño de grano.

Para este TFG se utilizaron 4 tipos de rocas o 4 tipos litológicos, las cuales se eligieron bajo criterios de homogeneidad y uniformidad del material como también se consideró el conocimiento previo de estos dentro del proyecto que embarca este TFG y dentro de la bibliografía disponible. Lo anterior a causa de lograr una baja distorsión en los resultados, al igual que en el tratamiento y comparativa de estos.

De esta manera los tipos de rocas utilizadas son 2 distintos orígenes, sedimentarias y metamórficas.

En el grupo de las sedimentarias se encuentra la “Arenisca Floresta” y la “Caliza Moleanos”, siendo la arenisca del grupo de las sedimentarias clásticas y la caliza de del grupo de las no clásticas químicas.

Por otro lado, se encuentra el “Mármol Macael” y el “Mármol Carrara o italiano”, ambas tienen un origen metamórfico y de carácter cristalino.



Figura 3.5. Materiales de estudio.

Fuente. [15] Escanciano, J. (2018).



### 3.2.1. Mármol Macael.

Es un tipo de mármol procedente de canteras españolas, específicamente de la localidad de Macael, Almería. Es un mármol blanco que tiene un color blanco regular, es compacto y de grano grueso, lo que permite distinguir los cristales a simple vista al ser de gran tamaño. Es un mineral muy gruesamente cristalino, su componente principal es la calcita, pero cuenta con opacos y cuarzo. La densidad aparente es 2715 [Kg/m<sup>3</sup>], de baja porosidad.

Es una roca metamórfica, su origen y características se deben a su alteración la cual tiene lugar a las elevadas temperaturas y presiones a los que los sedimentos son sometidos, generadas por intrusiones volcánicas.

No presentan cavidades, por lo que muestran una porosidad nula, así como una textura granoblástica muy pronunciada, con los cristales idiomorfos leucocráticos equidimensionales. (Justo et al., 2017).

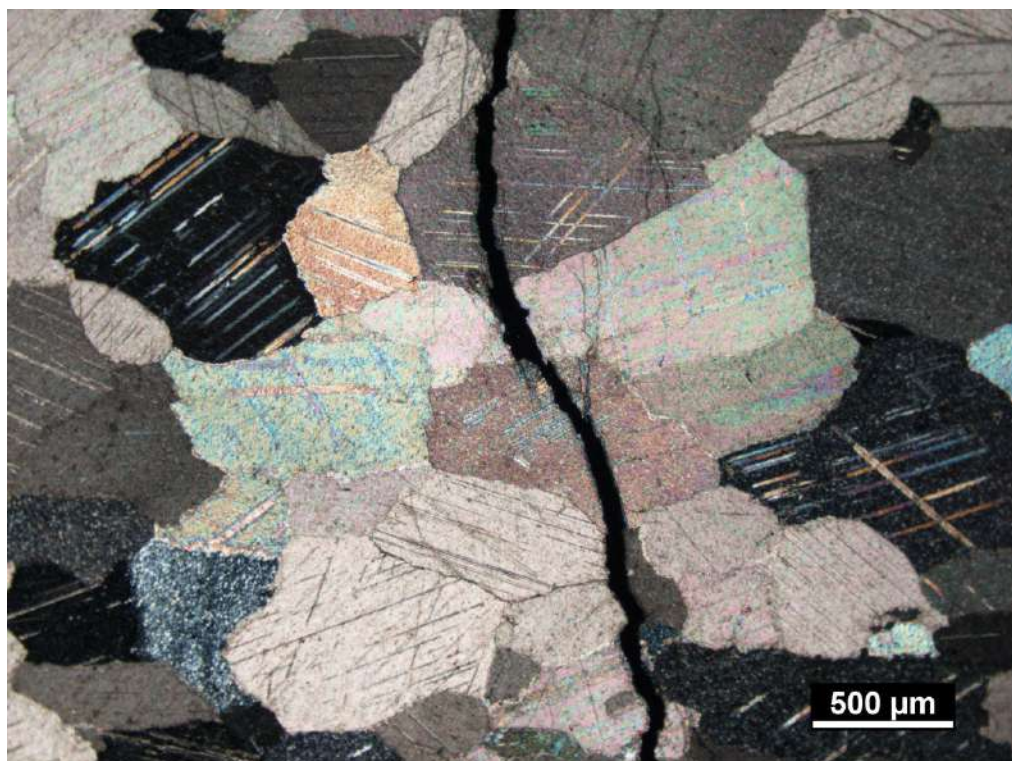


Figura 3.7. Marmol Macael.

Fuente. [15] Escanciano, J. (2018).



### 3.2.2. Caliza Moleano.

Las calizas son rocas del tipo sedimentarias no clásticas químicas, están formadas por componentes ortoquímicos, lo que significa, que es un material carbonatado formado por precipitación química directa en la cuenca de la sedimentación.

La “Caliza Moleanos” es un tipo de caliza de color beige claro y presenta una leve tonalidad grisácea, está formada por granos de tamaño dentro del rango de fino a medio y con manchas finas parduscas. Este tipo de caliza tiene una dureza media y su uso comercial más frecuente es para revestimientos, pavimentos y decoración ya sea de interiores o como terminaciones constructivas.

La cantera de origen es proveniente de Portugal, en la localidad de Moleanos, la extracción de este tipo de roca por su ubicación y como es común en las canteras de rocas, su extracción está limitada por el impacto ambiental producido, por ende, su cantidad y coste, está siempre condicionado.



Figura 3.6.Cantera de Caliza Moleanos.

Fuente. [23] Moleanoslimestone.com.





Este tipo de caliza está formado por intraclastos, pellets y cristales de esparita. Los intraclastos tienen una textura micrítica, teniendo una forma redondeada y su tamaño está dentro del rango de arena gruesa y microconglomerado. En el caso de los pellets, estos son agregados micríticos de forma elipsoidal, siendo el componente aloquímico dominante, entre el rango de arena fina a mediana se encuentra el tamaño de grano.

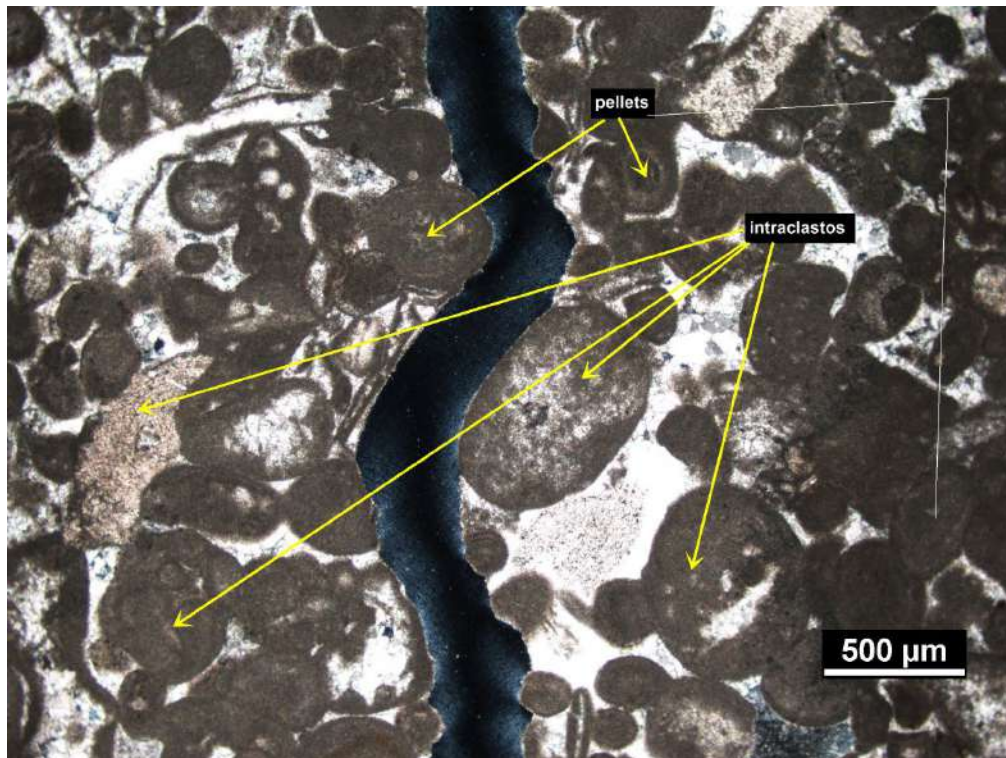


Figura 3.7. Caliza Moleanos.

Fuente. [15] Escanciano, J. (2018)

En general será una roca compuesta por carbonatos de calcio y de magnesio, dentro de las rocas no clásticas, la caliza es de las más abundantes. La densidad aparente es de 2500 [Kg/m<sup>3</sup>] y una porosidad de 2,7 [%].

### 3.2.3. Arenisca Floresta.

Las características generales de este tipo de roca son, un color beige claro, homogéneo, presenta una gran calidad y pureza. En cuanto a su estructura, es una roca muy compacta producto de su formación por arena cuarcífera consolidada y reestructurada con material cementante de origen calizo (Anon., s.f.).



Roca sedimentaria clástica, compuesta de mínimo un 85 [%] de granos de cuarzo, tiene un uso común en la construcción, a causa de su gran cantidad que se puede encontrar o facilidad de extracción., densidad aparente de 2340 [Kg/m<sup>3</sup>] y con una alta porosidad en comparación a los mármoles, del 14,7 [%].

Los sedimentos de tamaño arena que conforma este tipo de roca van desde los 2 [mm] hasta los 0,0625 [mm]. Está clasificada como sedarenita, al estar compuesta mayormente por clastos carbonatados y fragmentos de cuarzo. El componente de carbonato es en general con una forma subredondeada, con un tamaño medio y está compuesta por granos intraclásticos, presenta una textura arcillosa y dolomías y granos esparíticos.

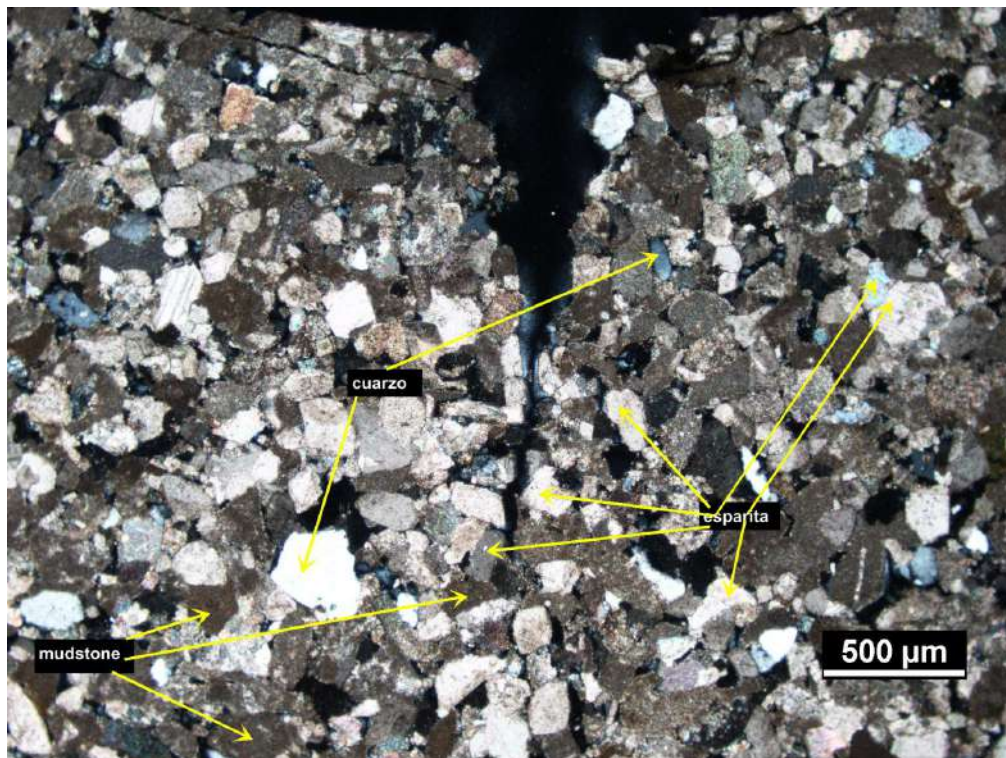


Figura 3.7. Arenisca Floresta.

Fuente. [15] Escanciano, J. (2018).

En el caso del cuarzo, este componente es principalmente de forma subredondeada, tiene una forma subangular, en un rango entre grano medio y fino se logra encontrar el tamaño de grano de este componente.





Para su uso comercial gracias a su calidad, resistencia y adaptación climática, se utiliza como fachada o recubrimiento de edificaciones, al igual que en pavimentos o en trabajos artísticos.

Por último, se presenta una tabla resumen de datos encontrados en normativas:

Ensayos Técnicos	NORMA	RESULTADOS
Densidad aparente	UNE-EN 1936:2007	2340 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Porosidad abierta	UNE-EN 1936:2007	14,7 [%]
Resistencia a flexión	UNE-EN 12372:2007	8,2 [MPa]
Resistencia a la compresión	UNE-EN 1926:2007	41 [MPa]
Resistencia a la abrasión	UNE-EN 1341:2002	32,5 [mm]
Resistencia al choque térmico	UNE-EN 14066:2003	0,05 [%]

Tabla 3.1. Tabla de datos “Arenisca Floresta”.

Fuente. Confección propia.

#### 3.2.4. Mármol Carrara.

Este tipo de roca se extrae de canteras ubicadas en el municipio italiano, los Alpes Apuanos, ese de gran blancura y escasas vetas. Compuesta de granos finitos y aspecto harinoso. De una densidad de 2709 [kg/m<sup>3</sup>] y una baja porosidad de 0,2 [%]. Al igual que en el caso del mármol Macael y otros tipos de rocas, su extracción está comprometida en el tiempo debido a su sobreexplotación, provocando un impacto ambiental, de este modo, restringiendo su extracción y a la vez su uso.



Figura 3.6. Cantera de Mármol Carrara.

Fuente. Valeria Strambi.

Es un mármol de gran conocimiento, producto de su gran uso comercial estético, sin olvidar su dureza y resistencia, lo que resulta como un material con diversos usos o aplicaciones, ya sean constructivas estéticas o estructurales.

Con se menciona en la descripción de esta roca en el TFG de Javier Escanciano este tipo de mármol: “Presenta una textura granoblástica muy desarrollada, donde los cristales idiomorfos leucocráticos forman un mosaico de granos más o menos equidimensionales. Al igual que en el caso del mármol Macael, la porosidad que tiene lugar es nula, siendo la diferencia más significativa entre ambos el tamaño del cristal.”

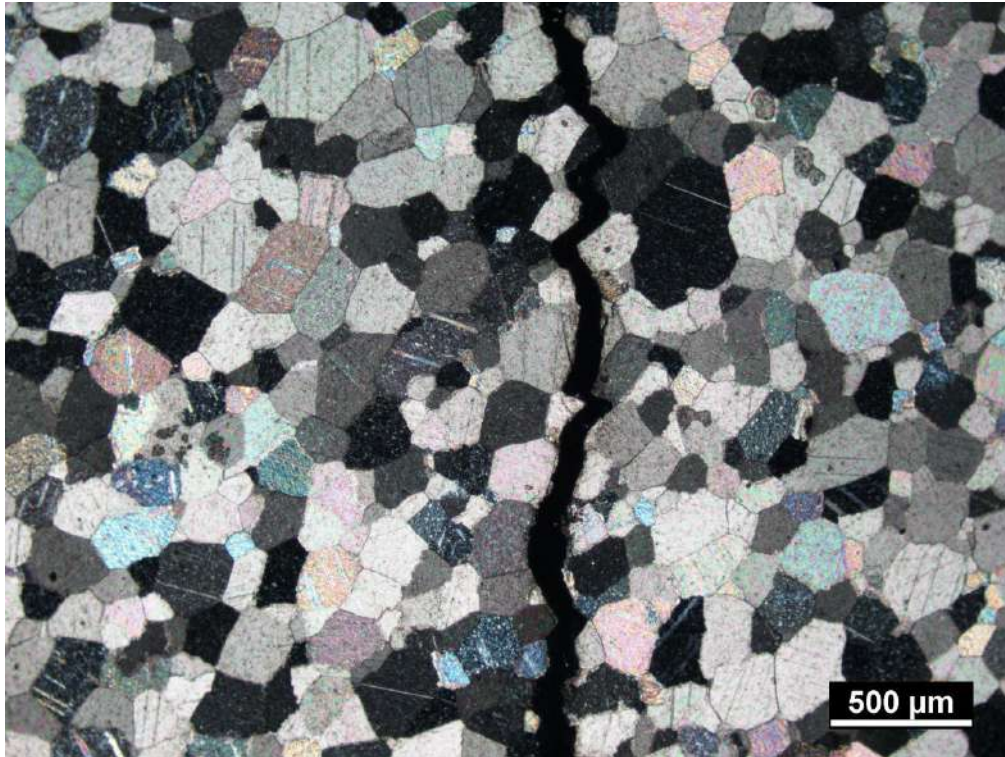


Figura 3.7. Mármol Carrara.

Fuente. [15] Escanciano, J. (2018).

### 3.3. Acondicionamiento.

El acondicionamiento se menciona de manera breve y apegada a normativa, ya que al momento del ensayo las probetas ya se encontraban extraídas de los bloques y pulidas. La muestra llega en bloques, desde donde se extraen las probetas como testigo por medio de una broca adiamantada y realizando un corte a la altura que se requiere, este testigo se debe pulir, rectificar perpendicularidad en bases con laterales y sus planos paralelos entre bases, corrigiendo según tolerancias geométricas, puliendo y rectificando se debe dejar en condiciones correctas la probeta.

Para acondicionar la probeta para el ensayo, se deben trazar 2 líneas perpendiculares entre sí en ambas bases, luego se unen por sus lados, trazando las alturas de las probetas. Con lo anterior realizado, solo se utilizarán 2 líneas paralelas laterales entre sí, en estas líneas, en su parte central se ubicarán las galgas, por ende, se debe pulir y limpiar la superficie, para colocar el adhesivo y luego la galga. Lo que se



pretende con ello es que las dos galgas se encuentren enfrentadas en la probeta.

Dependiendo a la temperatura que se ensaye la probeta será la aplicación del adhesivo, se coloca el adhesivo, luego ubicar la galga, sobre esta poner un trozo de goma y presionar con el pulgar, con cinta adhesiva asegurar la posición de la galga, repetir este procedimiento con la segunda, colocar una abrazadera para mantener presionadas las galgas, cuando en el caso que lo amerite (70, 150 y 250 [°C]) se deban introducir al horno y curar la probeta a la temperatura que posteriormente se deba ensayar.

Una vez que el adhesivo ha curado, retirar del horno y abrazaderas, y se comienza con la instalación de los cables, soldando los cables a los terminales de las galgas. Se recomienda volver a colocar al horno a la temperatura que se requiere ensayar, con el sentido que al ubicar la probeta en el horno-prensa, la temperatura al interior al momento del ensayo se pueda lograr a una mayor velocidad.

Para finalizar se identifica el cableado como lo indica la siguiente imagen.

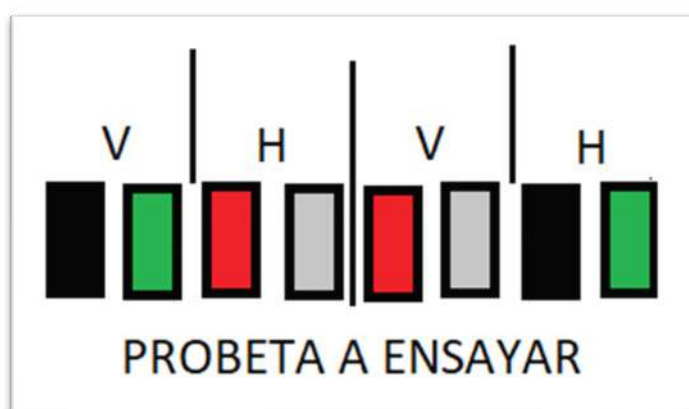


Figura 3.8. Dibujo de disposición del cableado.

Así, las galgas forman un puente de Wheatstone con la probeta de compensación, que es un circuito eléctrico que se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente.



#### 4. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE.

Por medio de este ensayo se determina la resistencia a compresión uniaxial de una probeta cilíndrica de roca, y a la vez permite obtener las constantes elásticas de la roca, módulo de Young y coeficiente de Poisson.

Para el caso de esta investigación la normativa de referencia para la ejecución del ensayo fue:

- UNE-EN-1926 Determinación de la resistencia a la compresión.
- UNE-22950-90 Ensayo determinación resistencia Parte 1: Resistencia a compresión Uniaxial.

Con los fines de este TFG, las normativas solo van a cumplir el rol de una referencia estandarizada, ya que, como se realizan ensayos a altas temperaturas como se muestran en la siguiente tabla, las condiciones de ensayos son distintas, desde la disposición de los elementos a parámetros obtenidos y cuidados extras a tener en la manipulación de los elementos.

Termino	Temperatura [°C]
T1	23
T2	250
T3	70
T4	150

Tabla 5.1. Tabla de ingreso de datos.

Fuente. Confección propia.

Para el desarrollo de este capítulo se definirá los títulos “Consideraciones previas”, “Ensayo a compresión simple” y “Post rotura”. “Consideraciones previas” se entenderá





como el concepto que engloba desde el acondicionamiento de la probeta terminado como se especifica en el capítulo anterior, comenzando con la colocación de la probeta en el horno-prensa y finalizando antes de la aplicación de cargas. En el caso del término “Ensayo a compresión simple”, contendrá todo lo que sucede desde la aplicación de la carga hasta su rotura, para finalizar con el término “Post rotura”, que será desde la rotura hasta la toma de muestra y posterior colocación en el horno.

#### **4.1. Consideraciones previas.**

Previo a someter a la probeta a cargas uniaxiales de compresión, se deben seguir los siguientes pasos:

\*El horno debe estar precalentado a la temperatura a la cual se realizará el ensayo.

1° Colocar la probeta en la prensa dentro del horno, y el cableado de las galgas extensométricas se debe sacar del horno para su posterior conexión al elemento de los terminales.

\*Toda maniobra que se realice dentro del horno y con la probeta previamente retirada de su curado en horno, debe realizarse con guantes de resistencia a altas temperaturas.

\*La manipulación de la probeta se debe realizar con cuidado, evitando el contacto con las galgas extensométricas y su unión soldada con el cableado.

2° Colocar la probeta de compensación en el interior del horno y al igual que con la probeta a ensayar, se debe dejar su cableado dispuesto en el exterior para su posterior conexión.

3° Tomar el cableado de ambas probetas, ajustarlo en el elemento dispuesto para para transmitir las variaciones de las galgas extensométricas. poder realizar los ensayos a compresión uniaxial simple en rocas a distintas temperaturas, se introdujo dentro del horno parte de la prensa (solo los apoyos inferiores y superiores), y la célula de carga



fuera del horno como se muestra en la Figura 3.1.

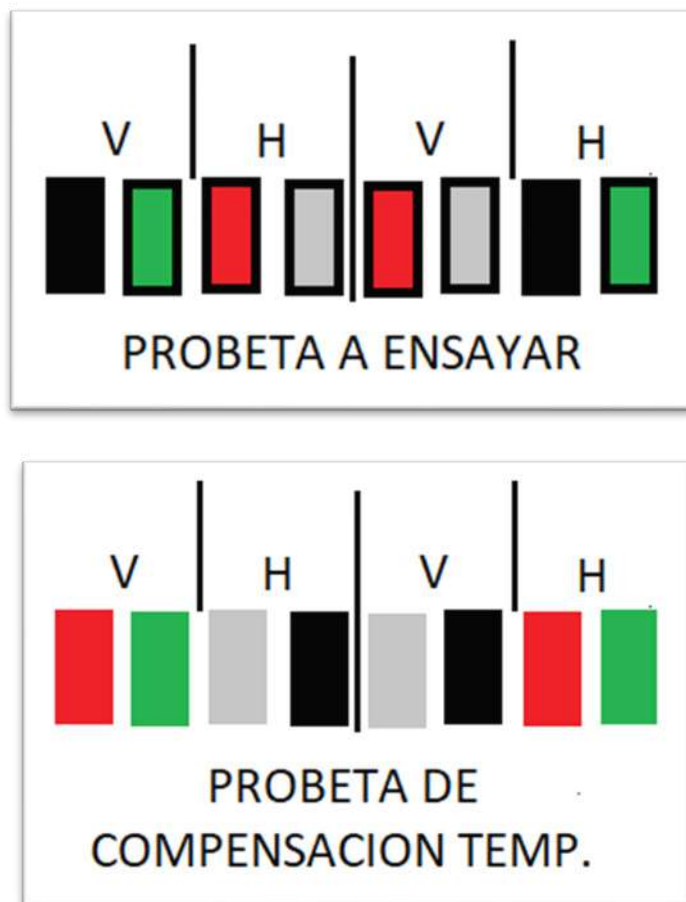


Figura 4.2. Dibujo de disposición del cableado.

Fuente. Imagen propia.

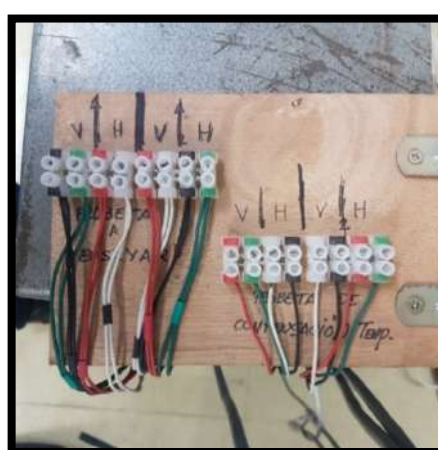


Figura 4.3. Fotografía del cableado ajustado.

Fuente. Imagen propia.



4° Iniciar el software en el ordenador, calibrar e identificar cada uno de los elementos de medición, LVDT exterior, célula de carga, las galgas extensométrica.

\*Para calibrar las galgas extensométricas se debe utilizar el aparato de frecuencia.



Figura 4.4. Fotografía del aparato de frecuencia.

Fuente. Imagen propia.

5° Ajustar la probeta que está en la prensa al interior del horno, cumpliendo con los requisitos especificados en la norma. Superficie de los apoyos de la prensa debe estar limpia, retirando partículas que puedan causar una aplicación de la carga no homogénea sobre la probeta, la probeta debe quedar centrada en la placa para la aplicación homogénea de la carga.

6° Cerrar el horno esperando a que la temperatura al interior del horno alcance la temperatura de ensayo correspondiente a la probeta.

#### **4.2. Ensayo a compresión simple.**

Antes de iniciar el ensayo se realiza una precarga, revisando en el ordenador que las mediciones que se están tomando tienen coherencia, revisando los gráficos que se logran y que son observados a través del software, esta precarga se realiza de manera manual.





Con lo anterior comprobado, se procede a realizar el ensayo, colocando la prensa en modo automático, ajustando la velocidad y el nivel de giro, la cual equivale por especificaciones de la prensa a 0.5 m/s de aplicación de la carga sobre la probeta, lo anterior como lo especifica la norma.

Listo lo anterior, se debe realizar los siguientes pasos:

1° Reiniciar el sistema luego de la aplicación de la precarga.

2° Iniciar el programa y la prensa en modo automático, observando siempre las mediciones de los gráficos, viendo la correcta ejecución del ensayo.

3° Llegando a la rotura la probeta, se debe detener la prensa y el programa del ordenador, guardando los datos obtenidos por software.

#### **4.3. Post rotura.**

Finalizado el ensayo:

1° Apagar el aparato de frecuencia, y se procede a abrir el horno.

2° Fotografiar la rotura de la probeta.

3° Desconectar y retirar el cableado de la probeta ensayada.

4° Proceder a retirar parte de los restos de la probeta ensayada en un recipiente previamente tarado, y luego se debe pesar y registrar sus datos, por último, este recipiente se coloca en un horno a 100°C, con motivo de obtener posteriormente el porcentaje de humedad.

5° El resto de la probeta al interior del horno se retira y se desecha, limpiando el interior del horno y la base de la prensa donde va ir apoyada la siguiente probeta a ensayar.



## **5. ANALISIS DE RESULTADOS.**

En este capítulo, en primer lugar, se presentará el ingreso de datos a la platilla Excel, datos de identificación de probeta y de tensión-deformación, con la finalidad de confeccionar el grafico Tensión – Deformación. Luego se presentará una tabla resumen por roca y temperatura que contendrá la tensión de rotura, módulo de Young y coeficiente de Poisson. Realizado lo anterior se proseguirá con el análisis de las resistencias, eliminando datos que estén fuera de los rangos, según el anejo C de la norma UNE-EN-1926: Determinación de la resistencia a la compresión simple, con lo anterior en unos casos se verán reducidos el número de datos.

Después se procede con la obtención de promedios por roca y temperatura de cada uno de los parámetros nombrados, y su posterior gráfica. Para finalizar con análisis numérico, se graficarán los datos de las resistencias finales y se procederá a graficar las temperaturas versus las tensiones de rotura, con el fin de determinar una línea de tendencia con su respectiva ecuación y tipo de tendencia, esta ecuación dependerá de la temperatura (°F), y estimará una tensión de rotura promedio. Con lo anterior se logra obtener una ecuación que asimile el comportamiento de la roca a distintas temperaturas.

Por otra parte, se realizará un análisis cualitativo, para el cual se presentará información de parámetros y características de las rocas ensayadas, dentro del proyecto general del cual deriva este TFG, la información se presentarán a medida que se va realizando el análisis cualitativo.

Para finalizar esta introducción del capítulo, se mencionará que el número total de ensayos fueron 120, lo que equivale al mismo número de gráficos tensión-deformación, 16 tablas resúmenes de rocas por temperaturas (4 por roca), 16 gráficos resúmenes, ambas contienen tensión, módulo de deformación y coeficiente de Poisson, 3 tablas resúmenes de promedios finales por temperatura y rocas, una para cada parámetro, 4 gráficos de tendencia y 16 tablas de tratamiento estadístico para tensión y otras 16 para módulo de deformación. En su mayoría se adjuntaron en los anejos, pero otras de



manera de resumen o para ejemplificar se colocarán en este

### 5.1. Análisis de datos.

El software del ordenador del grupo geotecnia, entrega un documento en formato de notas, el cual contiene la información del LVDT, las tensiones, deformación vertical y por último la horizontal. Para fines de este análisis los datos, la deformación vertical dada por el LVDT ubicado al exterior del horno no se utiliza, por consiguiente, nos quedan 3 columnas de datos. Por otro lado, nos encontramos con la información geométrica, física y de simple identificación de la probeta ensayada, con estos datos obtenemos densidad seca, peso húmedo y seco, diámetro, altura y sección, estos se ingresan y otros se obtienen, por medio, de una platilla Excel, la cual se usará para todos los ensayos, siempre con la finalidad de mantener una homogeneidad en la toma y análisis de datos.

ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN ROCAS Deformaciones medidas con bandas extensométricas (UNE 22-950:1990) Parte 3				
Muestra N°:		Caliza-Moleano4		
DATOS DEL FICHERO INICIAL DE ENSAYO			ENTRADA DE DATOS PARA EL GRÁFICO	
Tipo de muestra:	Testigo	Unidades	Humedad muestra	
Altura:	148,92	mm	Referencia tara	22
Diámetro:	50	mm	Tara + suelo + agua. (g)	466,3
Peso inicial:	701,5	pondios	Tara + suelo. (g)	466,09
Velocidad:	0,1	mm/min	Tara. (g)	264,08
			Suelo. (g)	202,01
			Agua. (g)	0,21
			Humedad. (%)	0,10
			Factor de corrección por humedad hig.	0,999
<b>Datos Probeta</b>				
Tipo de muestra			Testigo	
Altura. h (mm)			148,92	
Diámetro. d (mm)			50,00	
Sección (cm <sup>2</sup> )			19,64	
Peso húmedo (g)			701,5	
Peso seco (g)			700,77	
Humedad. $\omega$ (%)			0,10	
Densidad seca. $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )			23,51	
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)			57,32	
V. de ensayo. V (mm/min.)			0,10	

Tabla 5.1. Tabla de ingreso de datos.

Fuente. Confección propia.



Al proseguir con el ingreso de información en la plantilla, se toman los datos de tensión y deformación, y se grafican. En un inicio se debe “limpiar” los datos, eliminando los que se encuentren post rotura, ya que, para fines de este estudio solo se analizara de inicio de ensayo, hasta tensión de rotura. En la gráfica se encontrará al lado izquierdo la deformación horizontal y la derecha la vertical. Las deformaciones están expresadas de manera porcentual y la tensión en [MPa], ubicada en el eje vertical. En la parte superior se identifica la muestra con su número y su información geométrica.

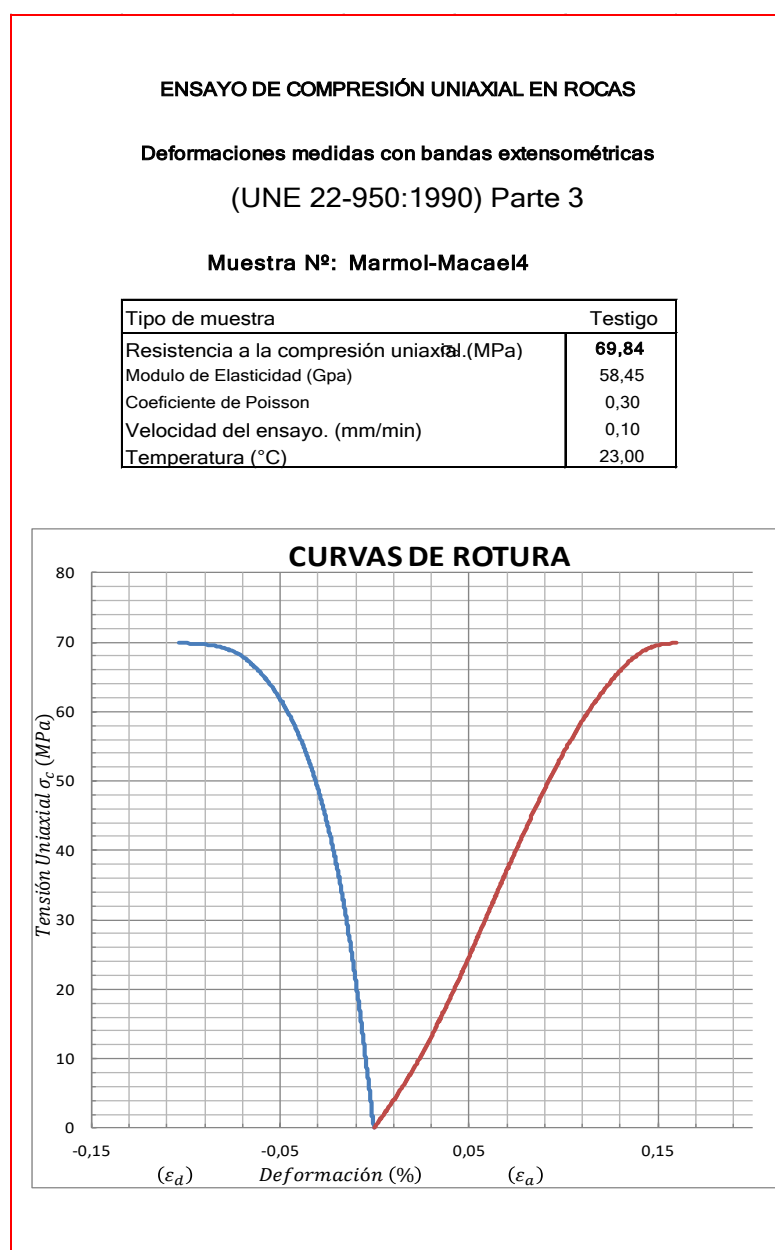


Gráfico 5.1. Gráfico tensión deformación.

Fuente. Confección propia.



Luego de haber graficado los datos se sigue con la obtención de los parámetros elásticos, como el módulo de Young y coeficiente de Poisson. Como se mencionó en uno de los apartados anteriores, el criterio para la determinación de estos parámetros es el mismo para cada ensayo, con el objetivo de tener parcialidad en los resultados y que estos sean comparables, por ende, se consideró el mismo criterio del 50 [%] de resistencia y una muestra del 50 [%] de datos centrales para la obtención de los parámetros. En la siguiente imagen, la línea roja indica el punto de tensión de rotura, la verde el 50 [%] de la tensión de rotura, y las líneas naranja representan el los valores de los límites del 50 [%] de datos centrales con respecto a la tensión de rotura.

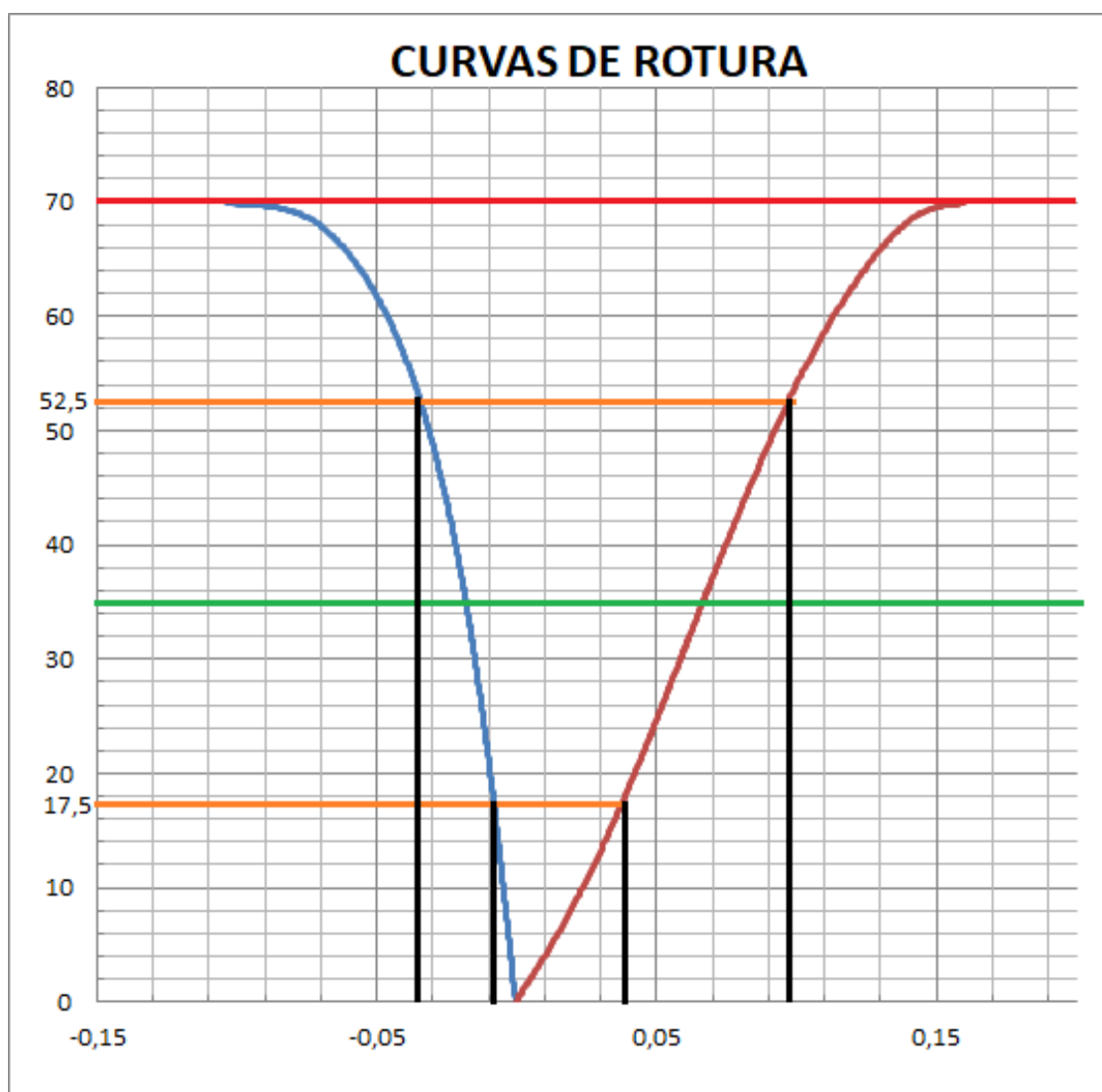


Grafico 5.1. "Tensión-Deformación" .

Fuente. Confección propia.



Para ser más específico, como se muestra en la imagen siguiente se marca el valor más cercano al 50 [%] de la resistencia en la tabla, aproximando hacia arriba si es necesario, ubicando un valor que exista en la tabla.

Determinado el valor central al 50 [%] de la tensión de rotura, se determina los valores al 25 [%] y al 75[%], los cuales serán el límite inferior y superior del muestreo del 50 [%] de datos centrales, con respecto a esto se ubican sus respectivos en deformación horizontal y vertical.

Para el caso del módulo de Young, se aplica la ecuación que se menciona en capítulos anteriores y luego para obtener Poisson, se promedian los obtenidos en el 50 [%] de datos centrales. Este criterio se tomó para todos los casos y de esta forma se logra que los parámetros finales sean comparativos de forma estandarizada, ya que, se crea un procedimiento homogéneo y parcial para todas la rocas y temperaturas.

Realizando un breve resumen de lo anterior, ya se han obtenido los valores de tensión de rotura, módulo de Young y coeficiente de Poisson, como también anteriormente se graficaron los datos “Tensión – Deformación”. Por ende, se procede a realizar las tablas resúmenes por tipo de roca y temperatura, como lo muestra la siguiente tabla, numerando probetas y colocando de forma horizontal los datos o parámetros correspondientes, concluyendo estas probetas con los promedios de manera vertical de cada parámetro. Para este caso ejemplo, se utilizó el de la caliza Moleano a una temperatura de 23 [°C], no sobra mencionar, que el coeficiente de Poisson es adimensional, el módulo de Young o elasticidad se encuentra en [GPa] y la Tensión en [MPa].



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS			
CALIZA MOLEANO		T1	23°C
PROBETA	POISSON	M. DE YOUNG(GPa)	RESISTENCIA (Mpa)
1	0,22	45,73	60,51
2	0,26	41,03	77,40
3	0,29	39,98	37,75
4	0,25	38,74	82,09
5	0,26	39,67	82,49
6	0,26	37,41	82,88
7	0,32	37,72	65,85
8	0,34	32,46	85,65
9	0,23	25,78	79,48
10	0,30	41,72	83,89
11	0,33	37,91	81,85
12	0,31	40,46	84,17
PROMEDIO	<b>0,28</b>	<b>38,22</b>	<b>75,33</b>

Tabla 5.3. Tabla de resumen de datos “Caliza moleano T1 = 23 [°C]”.

Fuente. Confección propia.

## 5.2. Tratamiento estadístico.

Antes de realizar cualquier tipo de gráficos y análisis más profundo de estos datos, la normativa recomienda realizar un filtro de los datos por el límite inferior de resistencia, siguiendo una serie de pasos especificados en la norma de base estadística, siguiendo la premisa de que las rocas tienen un comportamiento logarítmico y normalmente trabajando con un nivel de confianza del 75 %, todo esto se encuentra en el anejo C, de la norma UNE-EN-1926-2006.

En primer lugar, como lo dice la norma esto es un tratamiento estadístico de los resultados del ensayo, se deberán obtener los siguientes valores:

- Valores o resultados.
- Número de valores medidos.
- Media aritmética o promedio.





- Desviación estándar.
- Coeficiente de variación.
- Media logarítmica.
- Media logarítmica.
- Desviación estándar logarítmica.
- Valores máximos, mínimo.

Todos los datos anteriores con el fin de obtener el valor inferior esperado, el cual será nuestro límite inferior, por ende, cualquier valor inferior a este no se considerará dentro del análisis posterior, ya sea, estadístico o técnico.

Para el cálculo de los valores normales se asume una distribución normal, llámese valores normales a la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación, para el cálculo del valor inferior esperado se asume una distribución normal logarítmica y el valor inferior esperado va a corresponder al cuantil del 5 [%] de la misma distribución y con el nivel de confianza ya nombrado.

El valor del cuantil " $k_s$ " en relación al número de valores medidos se obtiene de la tabla C.1 del anejo 7 de la norma UNE-EN-1926-2006, como la que se muestra a continuación en la siguiente imagen, en la que también se marca el lugar donde estarían nuestros valores medidos a utilizar, ya que en la temperatura número 1, de valor 23 [°C], se realizaron 12 ensayos y en la otras temperaturas existieron en algunos casos puntuales probetas indultadas (no han llegado a rotura por limitación de la prensa), por ende, existen entre 4 a 6 probetas por temperatura en los ensayos a altas temperatura.



$n$	$k_s$
3	3,15
4	2,68
5	2,46
6	2,34
7	2,25
8	2,19
9	2,14
10	2,10
15	1,99
20	1,93
30	1,87
40	1,83
50	1,81
$\infty$	1,64

Figura 5.1. Tabla de C-Cuantil 5 [%].

Fuente. Anejo C, UNE-EN-1926-2006.

Para el caso de cuando existen 12 valores medidos, se graficó la tabla de cuantil en una planilla Excel, en la cual se busca determinar la tendencia con mayor exactitud apegada a la distorsión de los datos, como se muestra en el siguiente gráfico.

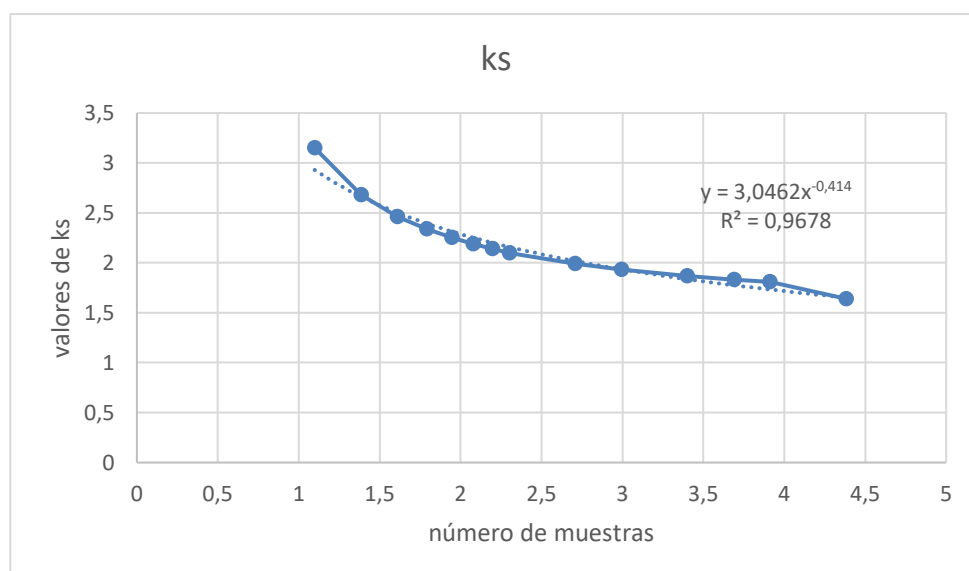


Gráfico 5.2. "grafico tabla cuantil" .

Fuente. Confección propia.



El valor  $R^2$ , que es el coeficiente de determinación, significa la bondad de la ecuación o línea de tendencia que tiene para explicar la distribución que se intenta detallar, en otras palabras, la exactitud que puede tener la tendencia o ecuación. El valor de este coeficiente se encuentra entre 0 o 1, que se puede interpretar entre 0 a 100 [%].

Para este caso se buscó la tendencia más apegada la cual resultó ser la exponencial, con un  $R^2$  del 96,78 [%], y se determinó una ecuación la cual se utilizó para obtener el valor estimado del cuantil cuando el número de muestras es 12. Para comprobar también por medio del grafico se busca el valor de 12 en el eje horizontal y si intercepta con la curva y se su equivalente con el eje vertical, obteniendo un valor similar al que se obtiene por ecuación. En resumen, se terminó utilizando para 12 muestras el valor de 2,09 como cuantil.

En la tabla 5.5. se presentan los cálculos necesarios para obtener los valores solicitados por la norma, para realizar el tratamiento estadístico, en esta tabla con la letra “n” se identifica los números de cada muestra, la “X” hace referencia al valor de cada muestra correspondiente a su tensión de rotura. En la tabla 5.4. se obtiene los parámetros solicitados por la normativa.



n	12,00
Media	75,33
Desviación Estándar	14,13
Coeficiente de Variación	19%
Media Logarítmica	4,30
Desviación Estándar Logarítmica	0,24
Máximo	85,65
Mínimo	37,75
Valor inferior esperado	44,97
Cuantil	2,09

Tabla 5.4. Tabla de calculo de datos necesarios para obtener valores “Caliza moleano T1”.

Fuente. Confección propia.

n	X	lnX	X-Media	(X-Media) ^2	lnX-Media ln	(lnX-Media ln) ^2	Xfiltro
1	60,51	4,10	-14,82	219,76	-0,20	0,04	60,51
2	77,4	4,35	2,07	4,27	0,05	0,00	77,4
3	37,75	3,63	-37,58	1412,57	-0,67	0,45	0
4	82,09	4,41	6,76	45,64	0,11	0,01	82,09
5	82,49	4,41	7,16	51,21	0,11	0,01	82,49
6	82,88	4,42	7,55	56,94	0,12	0,01	82,88
7	65,85	4,19	-9,48	89,95	-0,11	0,01	65,85
8	85,65	4,45	10,32	106,42	0,15	0,02	85,65
9	79,48	4,38	4,15	17,19	0,08	0,01	79,48
10	83,89	4,43	8,56	73,20	0,13	0,02	83,89
11	81,85	4,40	6,52	42,46	0,10	0,01	81,85
12	84,17	4,43	8,84	78,07	0,13	0,02	84,17

Tabla 5.5. Tabla de calculo de datos necesarios para obtener valores “Caliza moleano T1”.

Fuente. Confección propia.



Luego con los datos para obtener el valor inferior esperado se debe utilizar la formula señalada en la norma y remplazar los datos que se han calculado anteriormente.

$$\text{Valor inferior esperado} = E = e^{(\text{media}_{in} - (k_s * S_{in}))}$$

Aplicando la formula anterior obtenemos el valor esperado inferior, el cual utilizamos como límite y en este ejemplo el valor es 44,97 [MPa], lo que lleva a eliminar el dato número 3 igual 37,75 [MPa], quedando la columna “Xfiltro” que aparece en la tabla 5.5.

Por consecuencia de lo anterior nuestra nueva tabla resumen de la “Caliza Moleano” a la temperatura 1 queda de esta forma:

ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
CALIZA MOLEANO		T1	23°C		
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	TENSIÓN (Mpa)	TENSIÓN FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)
1	0,22	45,73	60,51	60,51	45,73
2	0,26	41,03	77,40	77,4	41,03
3	0,29	39,98	37,75	0	39,98
4	0,25	38,74	82,09	82,09	38,74
5	0,26	39,67	82,49	82,49	39,67
6	0,26	37,41	82,88	82,88	37,41
7	0,32	37,72	65,85	65,85	37,72
8	0,34	32,46	85,65	85,65	32,46
9	0,23	25,78	79,48	79,48	0
10	0,30	41,72	83,89	83,89	41,72
11	0,33	37,91	81,85	81,85	37,91
12	0,31	40,46	84,17	84,17	40,46
	<b>0,28</b>	<b>38,22</b>	<b>75,33</b>	<b>72,19</b>	<b>36,07</b>

Tabla 5.6. Tabla de resumen de datos “Caliza moleano T1 = 23 [°C]”.

Fuente. Confección propia.



### 5.3. Análisis de tendencia.

Luego de hacer lo anterior se realizan distintos gráficos comparativos, entre los datos que se encuentran en la tabla de resumen, al igual que también se realizan gráficos donde se cruzan datos de distintas tablas, pero de la misma roca, como se muestran a continuación siguiendo con el mismo ejemplo de la “Caliza Moleano”.

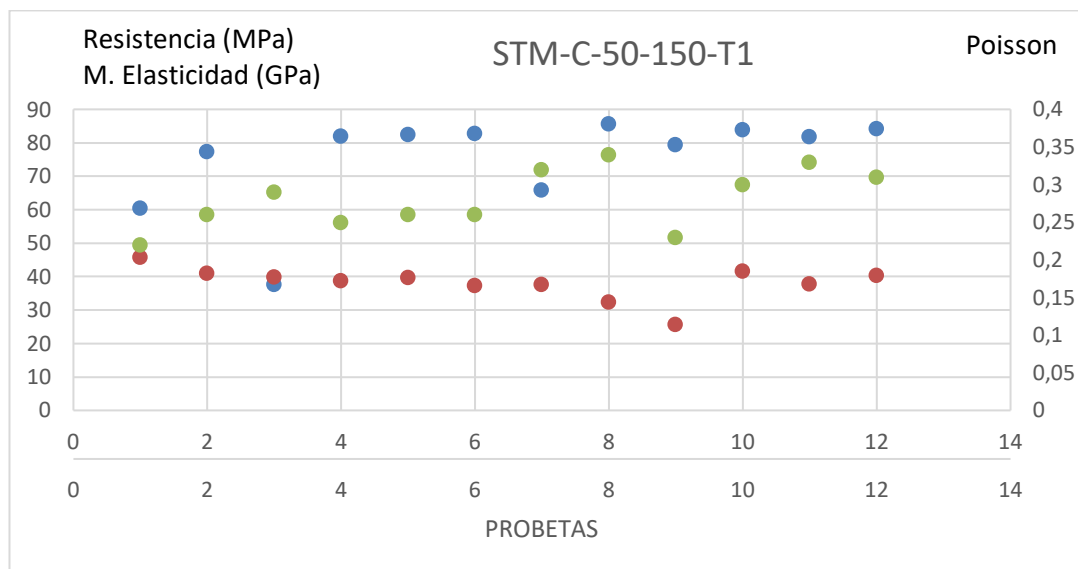


Grafico 5.2. Grafico que presenta los parametros obtenidos .

Fuente. Confección propia.

En este grafico se muestran las líneas de la resistencia a compresión simple de color azul, la del módulo de elasticidad o Young color rojo y en la del coeficiente de Poisson en color verde. Otra grafica que se obtiene de estas tablas son la comparativa de “Resistencias a Comprensión Simple Promedios”, como se muestra en la siguiente grafica.

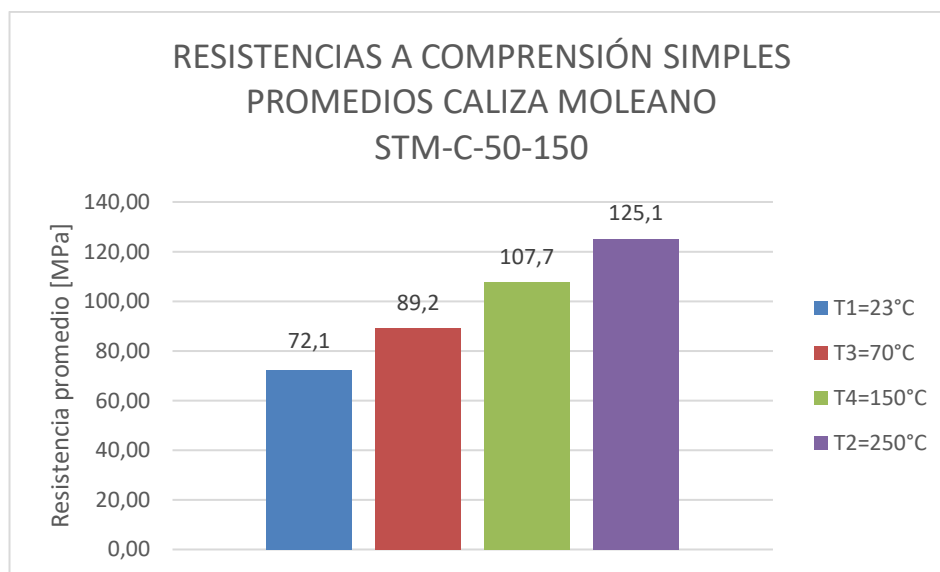


Grafico 5.3. Grafico “Resistencia a Compresión Simple Promedios”

Fuente. Confección propia.

Luego de realizar el cruce de datos por roca y temperatura, se confecciona una tabla con las tensiones promedios por temperatura de cada roca, identificando valores medios, máximo y mínimo, con su temperatura correspondiente y variación porcentual entre la temperatura 1 y temperatura 2, 23 [°C] y 250 [°C] respectivamente. En la siguiente tabla se muestra lo detallado anteriormente.

	CALIZA MOLEANO [Mpa]	ARENISCA FLORESTA [Mpa]	MARMOL MACAEL [Mpa]	MARMOL CARRARA [Mpa]
T1=23[°C]	75,33	46,24	81,41	97,80
T3=70[°C]	89,27	43,79	71,79	86,85
T4=150[°C]	107,75	40,61	61,12	72,03
T2=250[°C]	125,15	41,64	59,00	66,45
Media	99,38	43,07	68,33	80,78
Max	T2=250[°C]	T1=23[°C]	T1=23[°C]	T1=23[°C]
Max	125,15	46,24	81,41	97,80
Min	T1=23[°C]	T4=150[°C]	T2=250[°C]	T2=250[°C]
Min	75,33	40,61	59,00	66,45
T1-T2	49,81	-4,60	-22,41	-31,35
(T1-T2)/T1	66,12%	-9,95%	-27,53%	-32,05%

Tabla 5.7. Tabla de resumen de resistencias a compresión simple promedios.

Fuente. Confección propia.





Con los porcentajes de variación que se muestran en la tabla se observa de manera clara que la única roca que sufre una alteración de mayoración en la resistencia a compresión simple es la roca “Caliza Moleano”, la cual a una temperatura de 23 [°C], temperatura mínima de ensayo para este TFG, alcanza una resistencia a compresión simple promedio de 75,33 [MPa] y al realizar el ensayo a la temperatura máxima de 250 [°C] la roca llega a una tensión de rotura promedio de 125,15 [MPa], teniendo una variación porcentual del 66,12 [%].

Por otra parte, la roca del tipo “Arenisca Floresta” es la que tiene la menor alteración en su resistencia a compresión simple promedio, pero en este caso al contrario de la caliza, la arenisca disminuye su resistencia a compresión simple promedio porcentualmente en un 9,95 [%], pasando de una resistencia promedio de 46,24 [MPa] a 41,64 [MPa]. En el caso de las rocas del tipo “Mármol Macael” y “Mármol Carrara”, sufren una disminución porcentual similar, ambas dentro del 27,53 [%] y 32,05 [%], el “Mármol Macael”, alcanza una resistencia compresión simple a la temperatura mínima de 81,41 [MPa] y la de “Mármol Carrara” en condiciones similares llega a 97,80 [MPa], siendo notoriamente que la roca del tipo Carrara resiste más que la del tipo Macael a una temperatura de 23 [°C] en condiciones de ensayo similares, al llegar a la temperatura de 250 [°C], se vuelve a repetir el mismo comportamiento mecánico.

Lo anterior se repite para el análisis de módulo de elasticidad, realizando un tratamiento y obteniendo datos filtrados, como se muestra en las siguientes tablas finales, las cuales de igual manera están en los anejos.



	CALIZA MOLEANO Gpa	ARENISCA FLORESTA Gpa	MARMOL MACAEL Gpa	MARMOL CARRARA Gpa
T1=23°C	38,22	49,41	66,90	53,89
T3=70°C	44,44	43,79	51,89	47,27
T4=150°C	41,93	40,61	27,28	24,40
T2=250°C	48,97	41,64	17,47	15,54
Media	43,39	43,86	40,89	35,27
Max	T2=250°C	T1=23°C	T1=23°C	T1=23°C
Max	48,97	49,41	66,90	53,89
Min	T1=23°C	T4=150°C	T2=250°C	T2=250°C
Min	38,22	40,61	17,47	15,54
T1-T2	10,75	-7,78	-49,43	-38,36
(T1-T2)/T1	28,13%	-15,74%	-73,88%	-71,17%

Tabla 5.8. Tabla de resumen de modulos de deformación promedios.

Fuente. Confección propia.

Luego del tratamiento se obtiene una cantidad de valores por temperatura y roca, y con ellos se determinan promedios, valores máximos, mínimos y variaciones porcentuales.

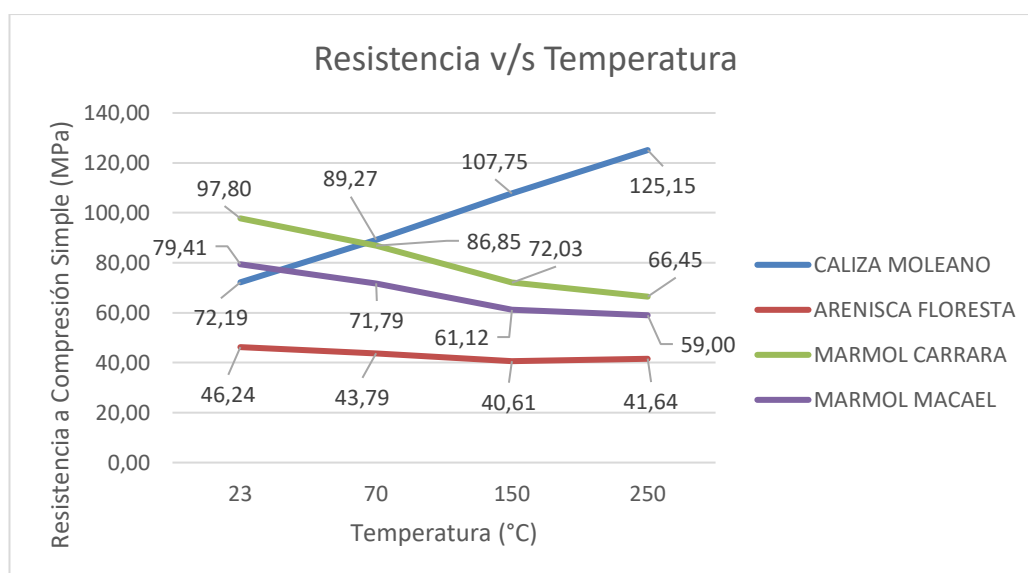


Grafico 5.4. Grafico "Resistencia v/s Temperatura"

Fuente. Confección propia

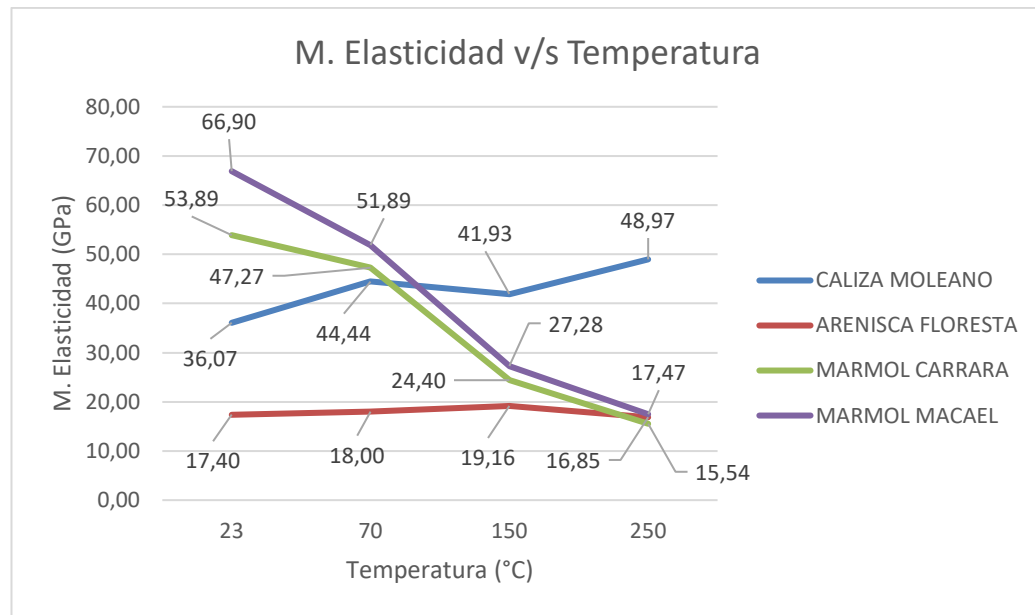


Grafico 5.5. Grafico “Modulo de Young v/s Temperatura”

Fuente. Confección propia.

Por último, con los datos filtrados por el tratamiento estadístico, se procede a ordenar los datos por roca como se muestra en la siguiente tabla en el ejemplo de la roca Mármol Carrara.



Probetas	Temperatura [°F]	Resistencia [MPa]	Ln (Resistencia)
1	T1 73,4	91,33	4,5145
2	T1 73,4	101,08	4,6159
3	T1 73,4	97,07	4,5754
4	T1 73,4	94,18	4,5452
5	T1 73,4	97,86	4,5835
6	T1 73,4	105,97	4,6632
7	T1 73,4	98,31	4,5881
8	T1 73,4	92,38	4,5259
9	T1 73,4	102,9	4,6338
10	T1 73,4	101,06	4,6157
11	T1 73,4	93,54	4,5384
12	T1 73,4	97,87	4,5836
13	T3 158	85,26	4,4457
14	T3 158	93,83	4,5415
15	T3 158	85,1	4,4438
16	T3 158	88,69	4,4851
17	T3 158	90,82	4,5089
18	T3 158	77,39	4,3489
19	T4 302	76,22	4,3336
20	T4 302	72,78	4,2874
21	T4 302	73,15	4,2925
22	T4 302	65,95	4,1889
25	T2 482	68,06	4,2204
26	T2 482	66,37	4,1952
27	T2 482	63,18	4,1460
28	T2 482	64,2	4,1620
29	T2 482	64,54	4,1673
30	T2 482	72,34	4,2814

Tabla 5.9. Tabla de datos de Resistencia de compresión simple “Marmol Carrara”.

Fuente. Confección propia.

En la tabla anterior el dato número 3, fue filtrado por el tratamiento estadístico dictado por la norma y especificado anteriormente. Se convierte la temperatura de [°C] a [°F], a causa de que a 0 [°C] en alguna de las ecuaciones de tendencia no se haga cero la resistencia estimada. El tipo de tendencia y por ende ecuación resultante por tipo de roca, se determinará con la que tenga un mayor coeficiente de determinación  $R^2$ , ya que, como se mencionó con anterioridad este indicará que tan exacta es esta ecuación para obtener un estimado del valor resultante, que este caso en la resistencia a compresión



simple promedio a una temperatura específica, su valor bajo no indica ni invalida la ecuación, lo que si puede significar es que integrando otras variables además de la temperatura esta pueda tener una mayor exactitud, por lo cual, mientras más variables determinantes, el valor estimado será aún más exacto y el valor de  $R^2$  será más cercano al 100 [%]. En este caso, se trabajó con solo 4 tipo de líneas de tendencia, exponencial, lineal, logarítmica y potencial, dentro de estas 4 la que dio un mayor  $R^2$  fue la seleccionada para cada caso de las rocas. Otra medida que se tomó fue trabajar con el logaritmo natural de las resistencias, para acercar los valores y lograr una mayor homogeneidad en los datos en el gráfico.

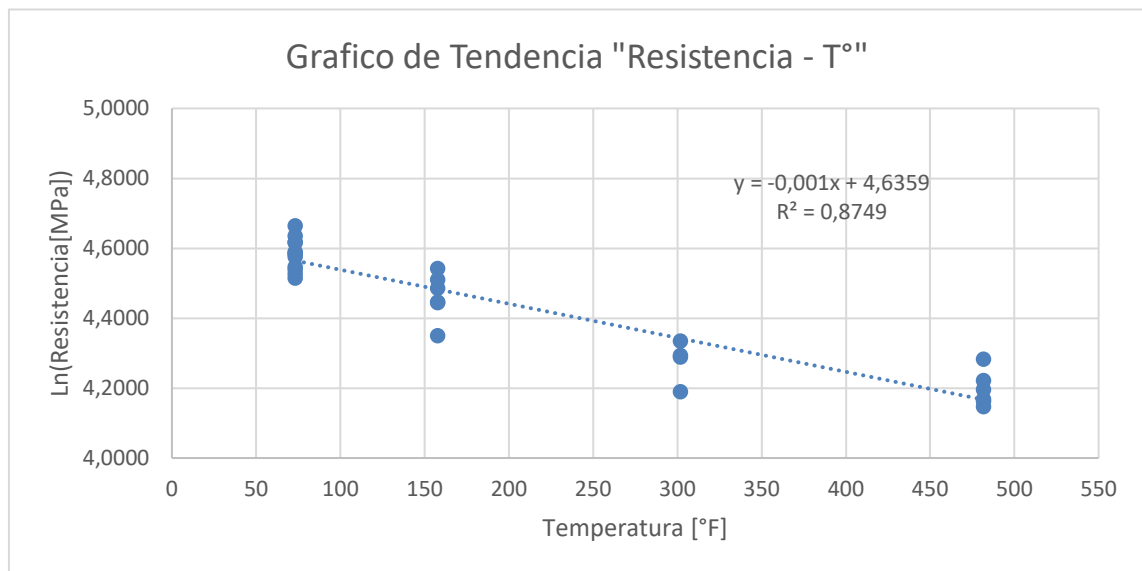


Gráfico 5.6. Gráfico Ln(Resistencia) v/s Temperatura [°F], "Mármol Carrara"

Fuente. Confección propia.



Para el grafico anterior, los valores  $R^2$  para las líneas de tendencia son:

Línea de Tendencia	$R^2$
Exponencial	87,83%
Logarítmico	90,07%
Potencial	90,01%
Lineal	87,49%

Tabla 5.10. Tabla de líneas de tendencia "Marmol Carrara".

Fuente. Confección propia.

Con lo anterior se determina que la línea de tendencia más válida para este muestreo es la logarítmica, la cual tiene por ecuación la siguiente:

$$\sigma_c \text{ estimado} = -0,208 \times \ln(T[^\circ F]) + 5,4831$$

A continuación, se presentarán los gráficos de las 3 rocas restantes con su línea de tendencia y ecuaciones correspondientes, seleccionadas según  $R^2$ .

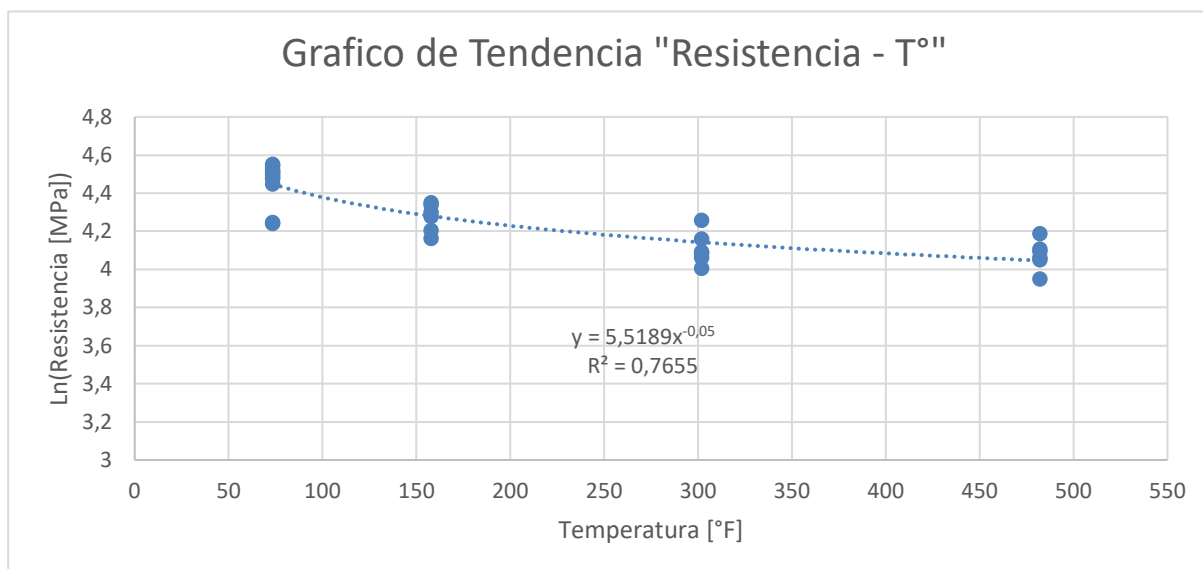


Grafico 5.7. Grafico Ln(Resistencia) v/s Temperatura [°F], "Mármol Macael"

Fuente. Confección propia.



Línea de Tendencia	R <sup>2</sup>
Exponencial	67,93%
Logarítmico	76,47%
Potencial	76,55%
Lineal	67,52%

Tabla 5.11. Tabla de líneas de tendencia “Marmol Macael”.

La línea de tendencia más válida para este muestreo es la potencial, la cual tiene por ecuación la siguiente:

$$\sigma_{c\text{estimado}} = 5,5189 \times (T[^{\circ}F])^{-0,05}$$

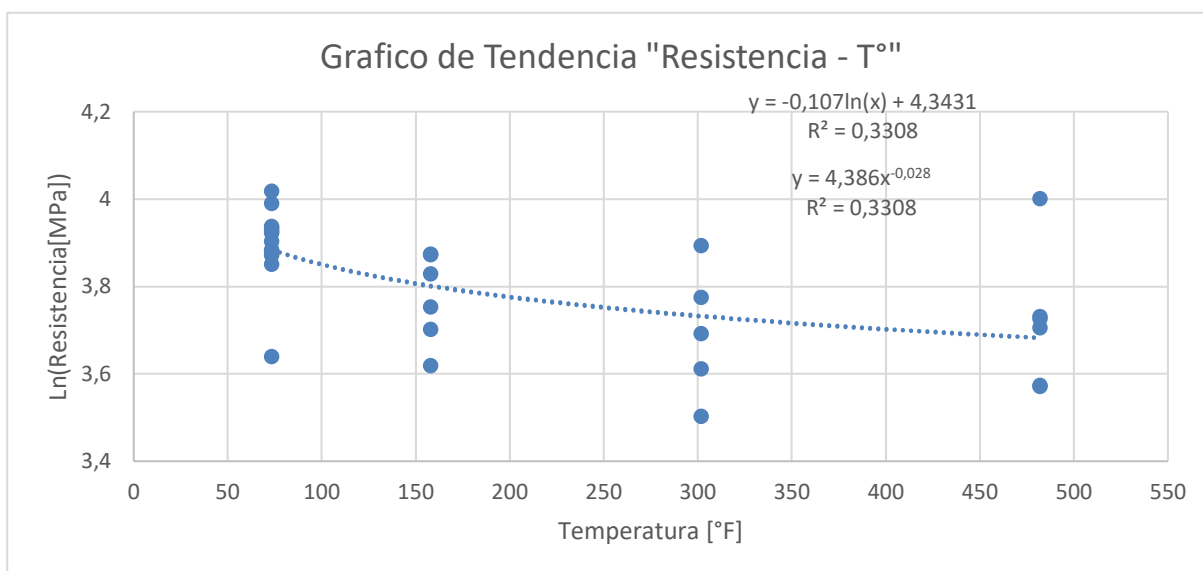


Grafico 5.7. Grafico Ln(Resistencia) v/s Temperatura [°F], “Arenisca Floresta”

Fuente. Confección propia.





Línea de Tendencia	R <sup>2</sup>
Exponencial	26,58%
Logarítmico	33,08%
Potencial	33,08%
Lineal	26,49%

Tabla 5.11. Tabla de líneas de tendencia “Arenisca Floresta”.

La línea de tendencia más válida para este muestreo son la potencial y logarítmica, la cual tienen por ecuación las siguientes respectivamente:

$$\sigma_{c\text{estimado}} = 4,386 \times (T[^{\circ}F])^{-0,028}$$

$$\sigma_{c\text{estimado}} = -0,107 \times \ln(T[^{\circ}F]) + 4,3431$$

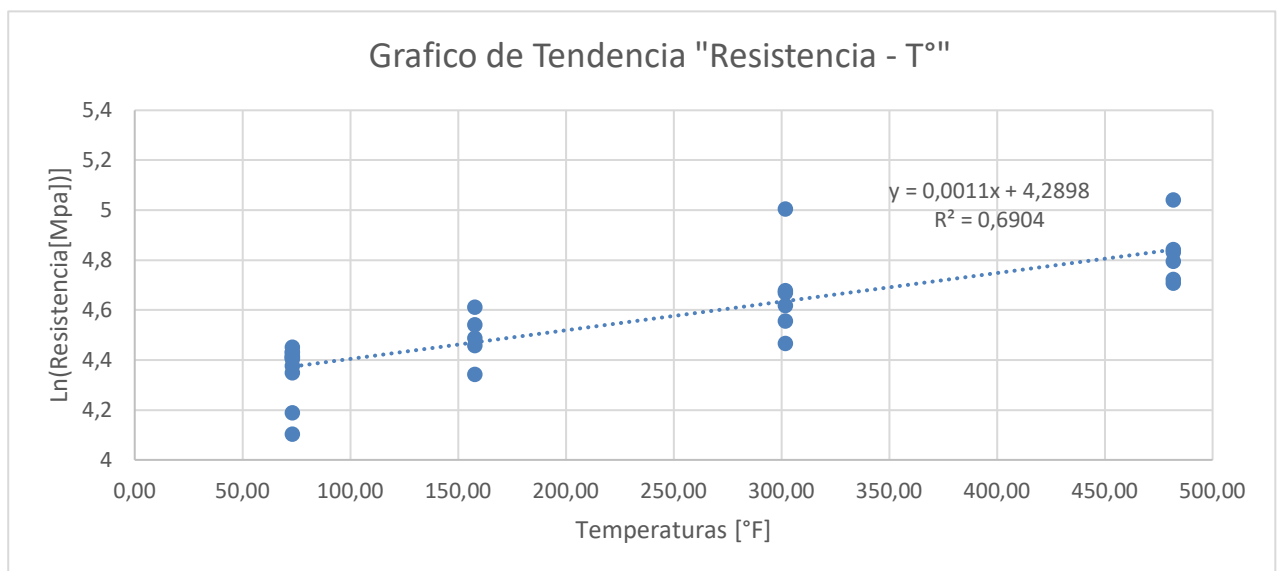


Grafico 5.8. Grafico Ln(Resistencia) v/s Temperatura [°F], “Caliza Moleano”

Fuente. Confección propia.



Línea de Tendencia	R <sup>2</sup>
Exponencial	68,86%
Logarítmico	68,5%
Potencial	68,69%
Lineal	69,04%

Tabla 5.12. Tabla de líneas de tendencia “Caliza Moleano”.

La línea de tendencia más válida para este muestreo son la lineal, la cual tienen por ecuación las siguiente respectivamente:

$$\sigma_c \text{ estimado} = 0,0011 \times T[^\circ F] + 4,2898$$

Las ecuaciones obtenidas por medio de estas gráficas, se recomienda para su desarrollo y utilización que se realice dentro de los rangos de temperatura de 23 a 250 [°C], por otro lado, la utilización de [°F] es con el fin de no indefinir la ecuación cuando se busque estimar una resistencia promedio a una temperatura de 0 [°C].

#### 5.4. Análisis final de datos.

Este apartado busca presentar la relación del módulo de Young con la resistencia a compresión simple v/s la temperatura, se presentarán 4 tablas de datos y 4 gráficos correspondientes a las 4 rocas ensayadas para este TFG.

Temperatura [°C]	Módulo de Young/Resistencia
23	0,51
70	0,50
150	0,39
250	0,39

Tabla 5.13. Tabla Razón relativa a la temperatura “Caliza Moleano”.

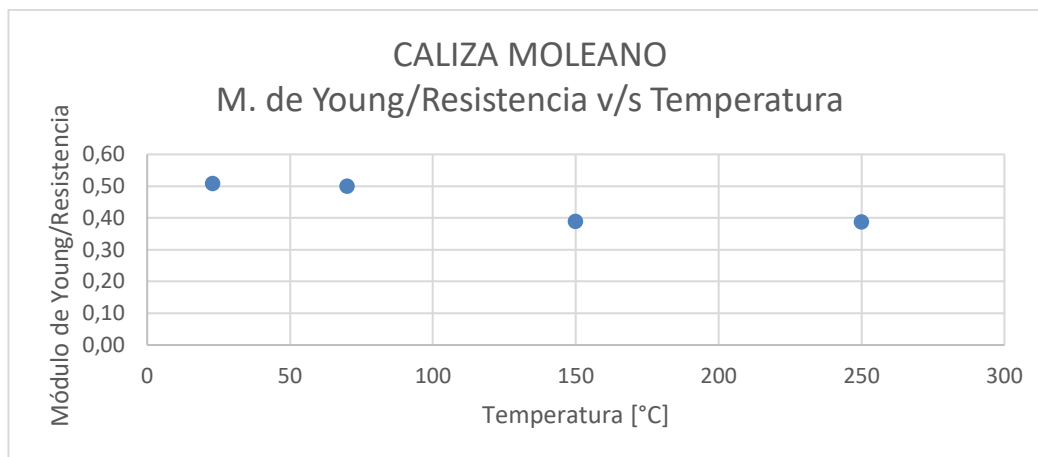


Grafico 5.9. Grafico (M. de Young/Resistencia a compresión)  
v/s Temperatura [°F], “Caliza Moleano”

Fuente. Confección propia.

Temperatura [°C]	Módulo de Young/Resistencia
23	0,38
70	0,41
150	0,49
250	0,41

Tabla 5.14. Tabla Razón relativa a la temperatura “Arenisca Floresta”.

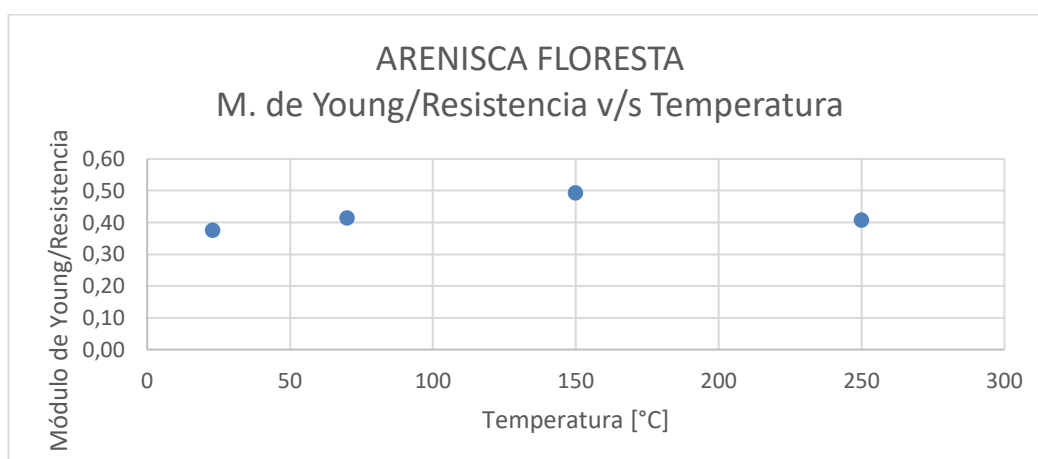


Grafico 5.10. Grafico (M. de Young/Resistencia a compresión)  
v/s Temperatura [°F], “Arenisca Floresta”

Fuente. Confección propia.



Temperatura [°C]	Módulo de Young/Resistencia
23	0,55
70	0,55
150	0,34
250	0,23

Tabla 5.15. Tabla Razón relativa a la temperatura “Mármol Carrara”.

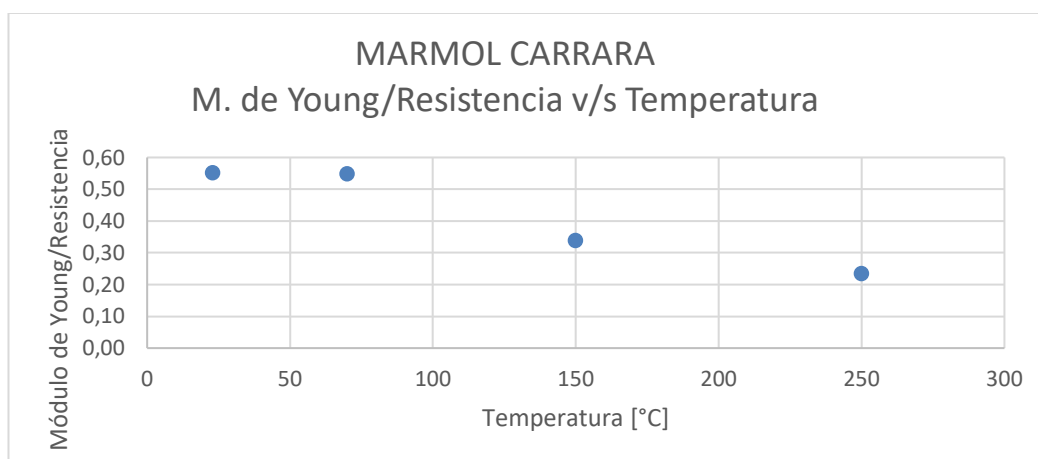


Grafico 5.11. Grafico (M. de Young/Resistencia a compresión)  
v/s Temperatura [°F], “Mármol Carrara”

Fuente. Confección propia.

Temperatura [°C]	Módulo de Young/Resistencia
23	0,79
70	0,72
150	0,44
250	0,30

Tabla 5.16. Tabla Razón relativa a la temperatura “Mármol Macael”.

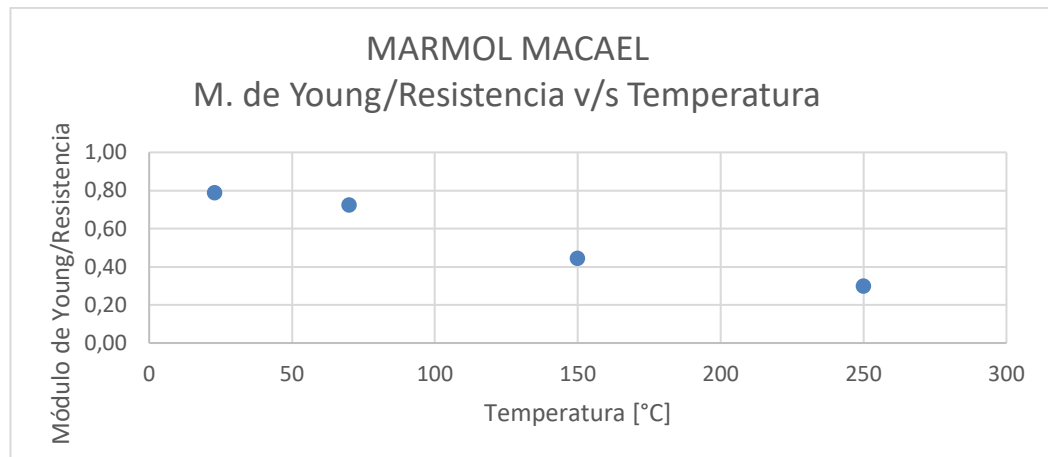


Grafico 5.12. Grafico (M. de Young/Resistencia a compresión)  
v/s Temperatura [°F], “Mármol Macael”

Fuente. Confección propia.



## 6. CONCLUSIONES

Finalizando este Trabajo Fin de Grado, en primer lugar, se revisa el cumplimiento del objetivo general, el cual para este caso se ha cumplido de forma satisfactoria porque se ha logrado estudiar el comportamiento mecánico de probetas de roca en compresión simple con galgas extensométricas a temperaturas en un rango de 23 [°C] a 250 [°C], realizando un análisis estadístico de los parámetros obtenidos, determinando ecuaciones de tendencia de resistencias a compresión simple promedios a una temperatura específica y por otro lado presentación de información bibliográfica sobre propiedades mecánicas y características de rocas similares obtenidas en ensayos anteriores, publicaciones, fichas técnicas y libros.

Las variaciones porcentuales de resistencia y parámetros de deformación son entre las obtenidas a 23 [°C] y 250 [°C], con lo anterior mencionado se procede a comentar lo logrado durante este TFG. En este TFG se ha logrado observar, de una manera clara y cuantitativa, la variación de la resistencia a compresión simple con la temperatura. Donde la roca del tipo “Caliza Moleano”, aumenta su resistencia en más de un 70[%]. El comportamiento de los mármoles (Carrara y Macael) es semejante y muestra una tendencia clara, disminuyendo su resistencia con la temperatura, en concreto disminuye porcentualmente, entre un 25 [%] y 35 [%], por otro lado, la arenisca que presenta la menor variación en su resistencia de manera descendente, pero con una variación exacta del 9,95 [%], siendo mínima en comparativa con las otras rocas.

Según lo expuesto, evaluándolo por el lado del diseño y mecánico práctico con respecto a su resistencia, la roca más confiable para su uso, es la roca del tipo arenisca puesto que presenta una baja variabilidad al aumentar su temperatura, en la situación de la caliza por el lado de la seguridad no existirían problemas ya que su resistencia aumenta considerablemente realizando la comparativa entre resistencia a compresión simple obtenida a 23 [°C] y la de 250 [°C]. No obstante, en la situación de generar un diseño, esta roca a altas temperaturas nos da una gran variación en el valor de resistencia a compresión simple, utilizada para el diseño generando una sobredimensión.



Con respecto al análisis estadístico, el primer punto a marcar es que la metodología utilizada para realizar el tratamiento estadístico sobre los resultados de resistencias a compresión simple y módulo de Young, es la recomendada por la normativa de referencia de este TFG en ensayos de compresión simple en rocas y obtención de parámetros de deformación.

Por medio de este tratamiento que en otras palabras es un tamiz de datos obtenidos, el cual filtra por la parte inferior, entendiendo que un valor superior en la obtención de resistencia no es un valor que pueda ser erróneo dentro de la toma de datos, pero un valor inferior o como lo llama la norma valor límite inferior puede ser un valor que por causas de manipulación ya sea durante el ensayo, en su acondicionamiento o extracción como testigo, se generaron fisuras internas o superficiales no detectadas visualmente, las cuales implicaron una rotura anticipada de la roca, dando un valor falso o erróneo el que puede incidir en el promedio y en la tendencia de comportamiento que puedan tener las rocas.

Referente a los valores propiamente tal, en el caso de la resistencia como se mencionó anteriormente, en 3 de las 4 rocas existe una disminución de la resistencia, en lo que se destaca el comportamiento directamente proporcional del módulo de Young con la resistencia compresión simple, no teniendo el mismo comportamiento porcentual, pero si en su tendencia al ser de aumento o disminución.

En la bibliografía consultada se encuentra siempre un criterio o definición común, la cual dice que las rocas al ir aumentando su temperatura su resistencia generalmente tendrán la tendencia a disminuir, más en ningún caso se asume un comportamiento general para todas las rocas similar, por ende, en este TFG si se observa de manera numérica tres cuartos o 75 [%] de las rocas ensayadas disminuyen su temperatura solo el 15 [%] aumenta, por ende, si consideramos que solo fue hasta 250 [°C], se entiende que a mayor temperatura las rocas se verán afectadas de una manera mucho más radical en su estructura y condiciones mecánicas, produciendo un descenso en la resistencia a compresión simple, implicando que nunca va ser indefinido el ascenso, en esta situación de la roca del tipo Caliza Moleano, por lo que esta premisa recogida de distintas bibliografías se puede asumir como correcta. Para demostrar la disminución y el no





aumento indefinido de resistencia se debería ensayar a temperaturas más altas de 250 [°C].

De las rocas trabajadas, tenemos 2 tipos, sedimentarias y metamórficas, en el caso de las sedimentarias se ubica la roca del tipo clástica y no clásticas químicas, Arenisca Florestas y Caliza Moleano respectivamente. La roca del tipo Arenisca Floresta tiene una mayor porosidad abierta que la Caliza Moleano, una diferencia porcentual del 10 [%], la Arenisca presenta una densidad aparente de 2320 [Kg/m<sup>3</sup>] y la Caliza de 2500 [Kg/m<sup>3</sup>], la última tiene un tamaño de grano promedio mayor que la arenisca y por último presentan una variación porcentual de su módulo de elasticidad al aumentar la temperatura de 23 a 250 [°C], positiva en el caso de la Caliza del 35,76 [%] y negativa en la Floresta del 3,16 [%], numéricamente ambas tienen una variación casi lineal con una leve pendiente, implicando un comportamiento más bien homogéneo en su módulo de elasticidad. Por otro lado las metamórficas del tipo cristalino se encuentran los mármoles Macael y Carrara, ambas con un porcentaje de porosidad abierta mínima que tiende a 0 [%], con una densidad aparente en el caso del tipo Macael de 2715 [Kg/m<sup>3</sup>] y en el Carrara de 2709 [Kg/m<sup>3</sup>], y variaciones porcentuales negativas en su módulo de elasticidad al aumentar la temperatura, similares del 73,88 [%] y 71,17 [%] respectivamente.

En las metamórficas su comportamiento mecánico se puede deber a su origen y tipo de roca, ya que logran, comportamientos similares en resistencia y módulo de elasticidad, sumando la resistencia a tracción a este análisis, esta reafirma que los mármoles tienden a comportarse de manera similar, solo que el que tiene un mayor tamaño de grano tiene una menor resistencia a la compresión simple, caso del mármol Macael.

En el caso de las sedimentarias su distinto comportamiento, se puede en primer lugar interpretar a causa de su origen o tipo de roca, ser clástica y la otra no clástica química y luego se encuentra sus distintos porcentajes de porosidad y tamaño de grano. Sus propiedades físicas son determinantes en el comportamiento físico a temperaturas normales, por ende, a altas temperaturas, estas son puntos de estudios en la causa de los resultados, en este caso la roca de menor densidad y mayor porcentaje de poros



abiertos, tiende a descender su resistencia, pero de forma gradualmente baja, por otro lado, la de menor porosidad y mayor densidad, presenta una creciente alza de resistencia al incremento de temperatura.

Por último, se concluye realizando una conjetura de los indicios y hechos mostrados a lo largo de este TFG y esta propia conclusión. Primero comenzando por el porcentaje de porosidad abierta en las rocas, puede ser una característica determinante en el comportamiento mecánico de la roca a altas temperaturas, ya que, al igual que en un pavimento de hormigón donde se realizan cortes o líneas de retracción, para que las fisuras producto de este fenómeno se concentren en el corte inducido y no en la generalidad del pavimento, se presume que los poros cumplen esa función, al incremento de altas temperaturas, las fisuras producto del calor se concentran en los poros, estas fisuras aumenta a mayor temperatura, por ende, las fisuras que se crean producto de la aplicación de carga de manera axial en la probeta empiezan a concentrarse dentro de estas micro fisuras en los poros, logrando mayores resistencias o una disminución leve en su resistencia, para el caso de casi nula porosidad, la alteración mecánica de la probeta se ve afectada inicialmente por la temperatura creando más la aplicación de la carga axial, una sumatoria de agentes exteriores afectando de manera negativa la resistencia a la compresión simple.

Para finalizar, se debe considerar el porcentaje de humedad como otra posible razón en el caso de las 2 rocas porosas en su comportamiento mecánico, ya que las variaciones de presión de poro pueden contribuir a los cambios en su comportamiento.



## 7. BIBLIOGRAFIA.

Se muestra en este apartado una selección de los principales documentos consultados para la realización del presente trabajo, encontrándose en el último capítulo la relación completa de referencia

- [1] Grupo Geotecnia, ETS de Ingenieros en Caminos, Canales y Puertos UNICAN, “Rock Mechanics”, Catedra de Obras Geotécnicas.
- [2] Justo, J. Castro, J. Cicero, S., (2020), Notch effect and fracture load predictions of rock beams at different temperatures: Application of the Theory of Critical Distances, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 125: 104161.
- [3] UNE-EN-1926 Determinación de la resistencia a la compresión. AENOR, 2006
- [4] UNE-22950 Ensayo determinación resistencia Parte 1: Resistencia a compresión Uniaxial, AENOR, 1990
- [5] UNE-EN-14580 Determinación del módulo elasticidad estática, AENOR, 2006
- [6] UNE-22950 Ensayo determinación resistencia Parte 3: Modulo de elasticidad. AENOR, 1990
- [7] Vallejos, J. (2013), Catedra de Mecánica de Rocas Ingeniería Civil en Minas, Introducción a la Mecánica de Rocas, Universidad de Chile.
- [8] Vallejos, J. (2013), Catedra de Mecánica de Rocas Ingeniería Civil en Minas, Tensor de Esfuerzo y Deformación, Universidad de Chile.
- [9] Vallejos, J. (2013), Catedra de Mecánica de Rocas Ingeniería Civil en Minas, Ensayos de Laboratorio en Roca, Universidad de Chile.
- [10] Vallejos, J. (2013), Auxiliar de Mecánica de Rocas Ingeniería Civil en Minas, Tensor de Esfuerzo, Universidad de Chile.



- [11] Vallejos, J. (2013), Auxiliar de Mecánica de Rocas Ingeniería Civil en Minas, Deformación y relación esfuerzo-deformación, Universidad de Chile.
- [12] B. H. G. Brady y E.T. Brown (2004), Rock Mechanics for underground mining, 2 (pp. 17-43), United States of America, Springer Science + Business Media.
- [13] B. H. G. Brady y E.T. Brown (2004), Rock Mechanics for underground mining, 4 (pp. 85-139), United States of America, Springer Science + Business Media.
- [14] Jack de la Vergne, (2006), Hard Rock Miners Technical Dictionary in English/Spanish, Canada, John N. de la Vergne.
- [15] Escanciano, J. (2018), Análisis microestructural de la fractura de las rocas mediante microscopía óptica, Trabajo Final de Grado ETS de Caminos UNICAN.
- [16] LSI Stones, s.f., About the Stone, Abril 2019, [moleanoslimestone.com](http://moleanoslimestone.com)
- [17] Anon., s.f. Arenisca Floresta, abril 2019, <http://www.pinayca.com/html/areniscas/Floresta-info.htm>.
- [18] Anon., s.f. MÁRMOL CARRARA abril 2019, [https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product\\_file/file/22666/MARMOL\\_CARRARA\\_1.pdf](https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/22666/MARMOL_CARRARA_1.pdf)
- [19] Anon., s.f. PIEDRA NATURAL FLORESTA O PIEDRA NATURAL VINAIXA. Abril 2019, <https://www.eduardmoragues.es/materiales/piedras-areniscas/piedra-floresta-piedra-vinaixa/>



## **8. ANEXOS**



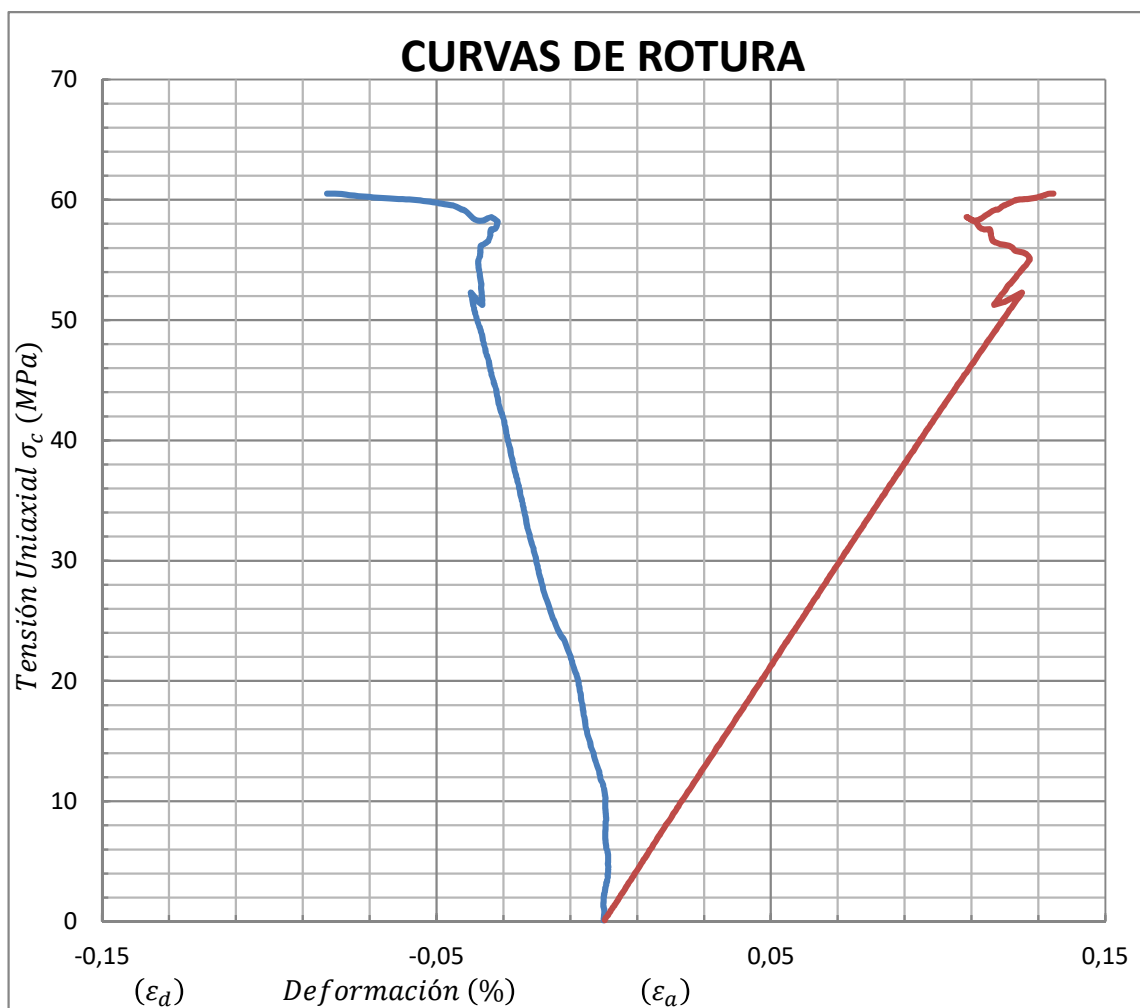
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>60,51</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	45,73
Coeficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



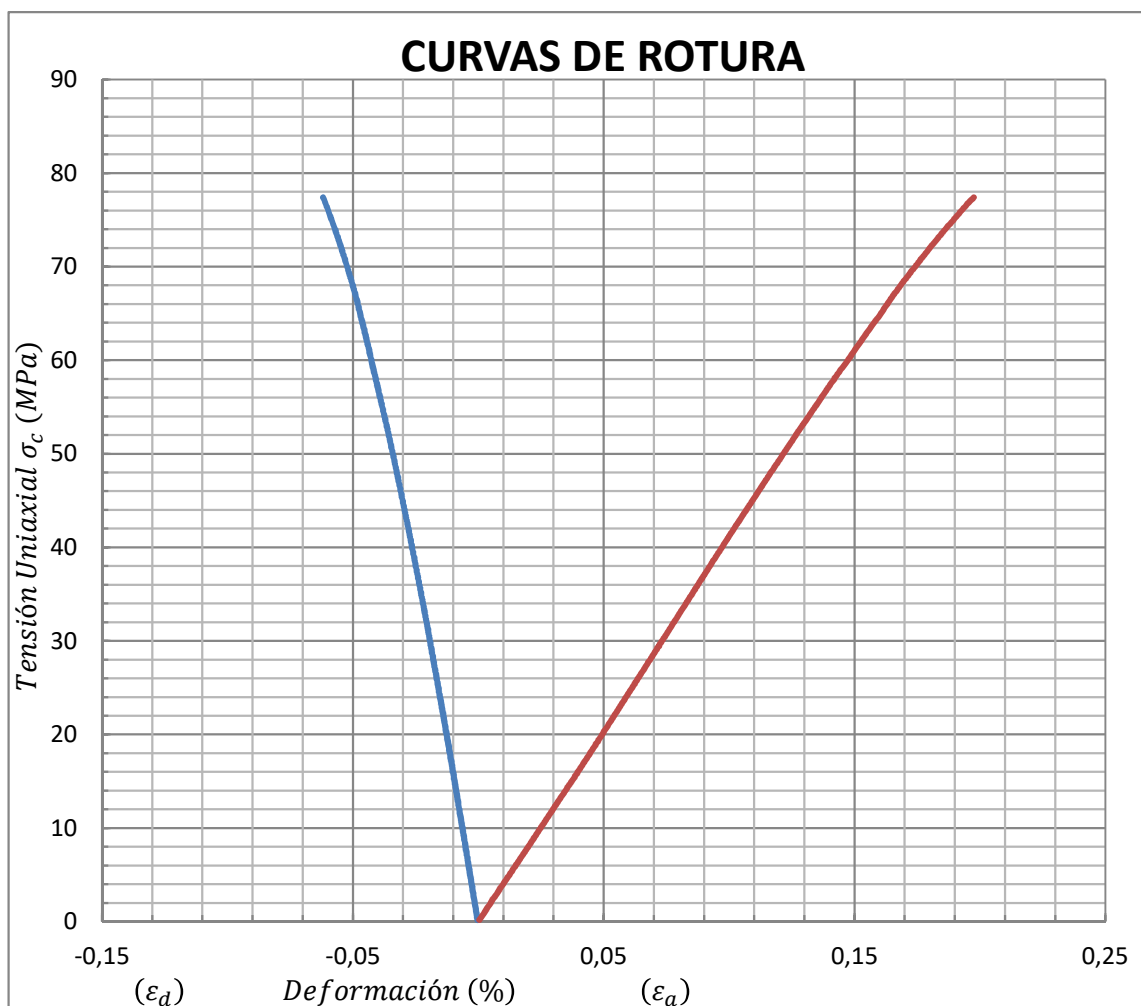
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>77,40</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	41,03
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





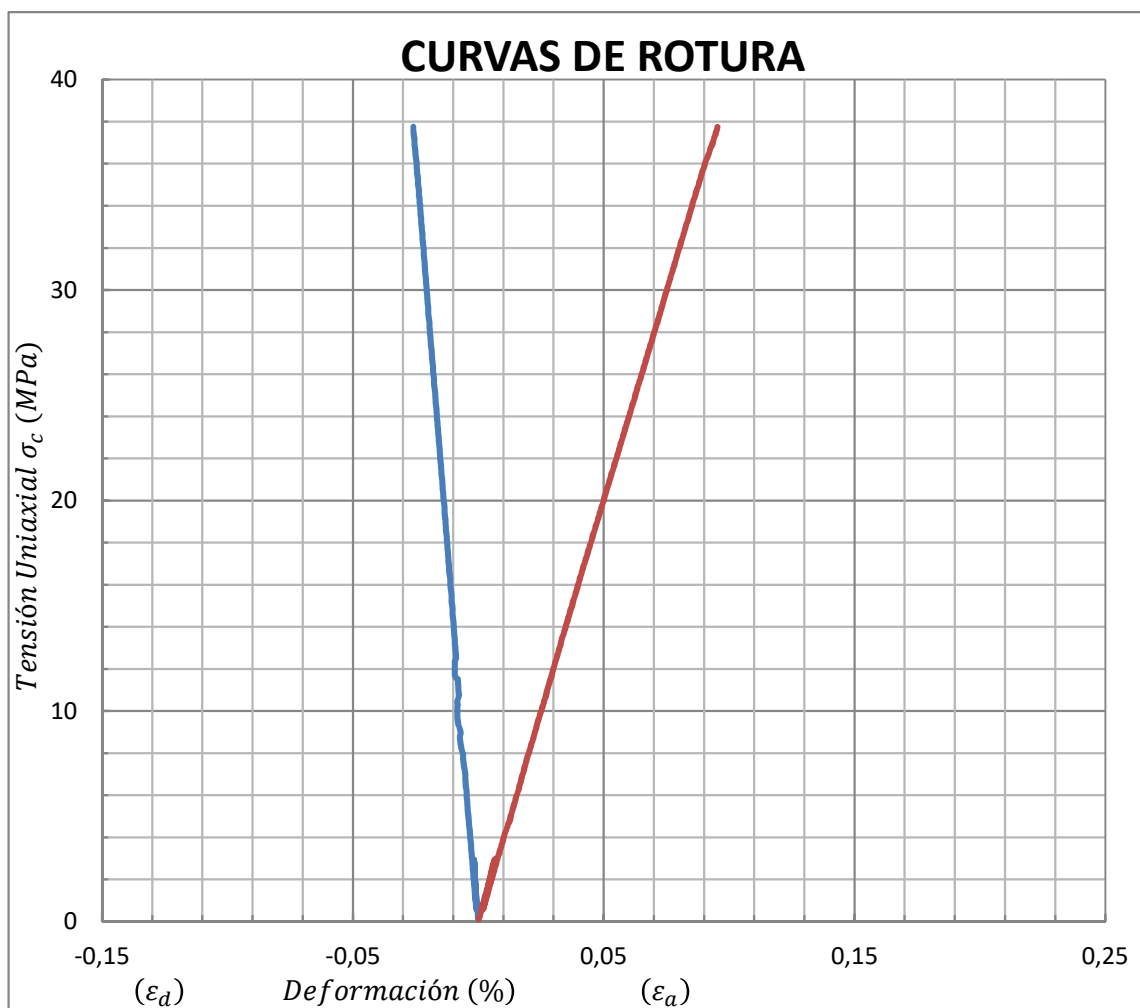
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>37,75</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	39,98
Coeficiente de Poisson	0,29
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



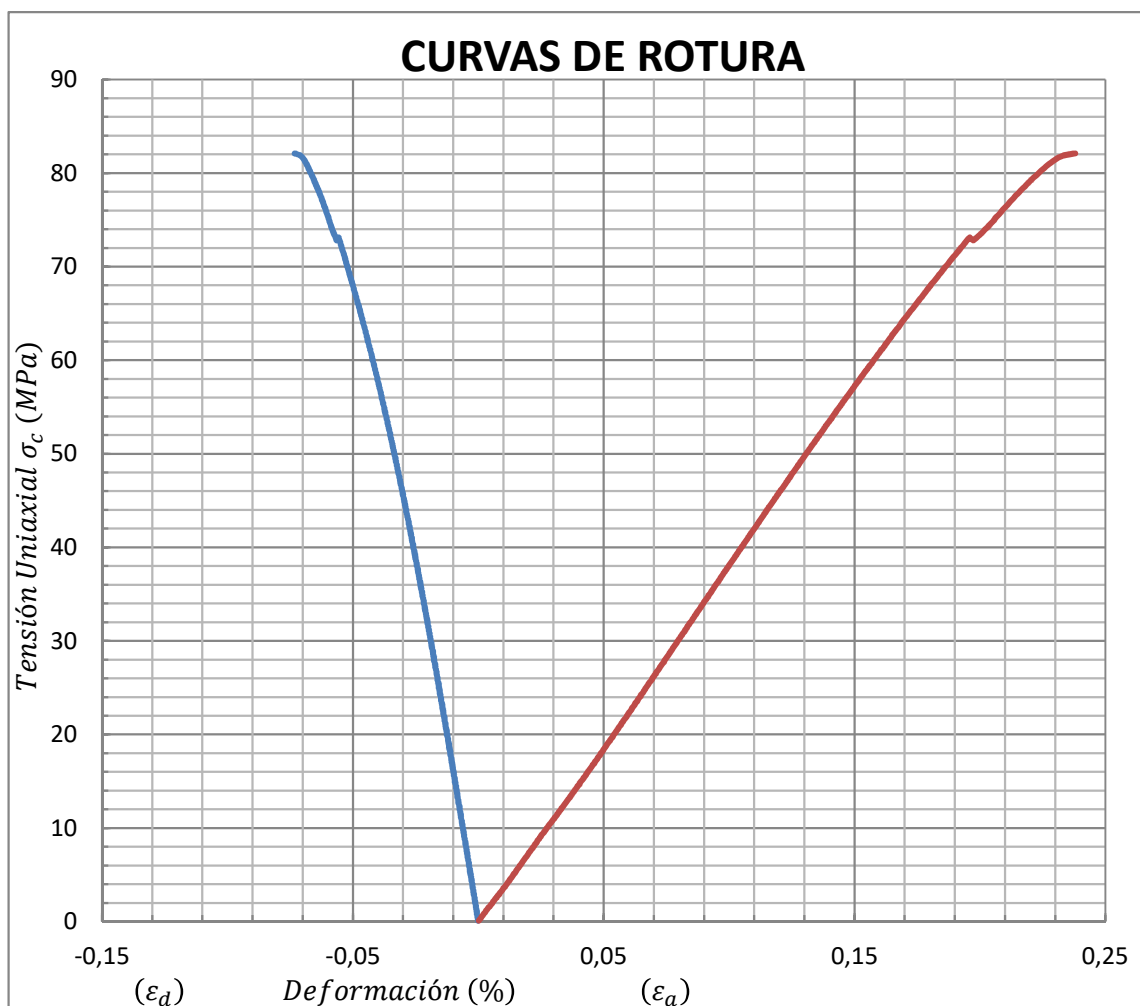
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>82,09</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	38,74
Coeficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



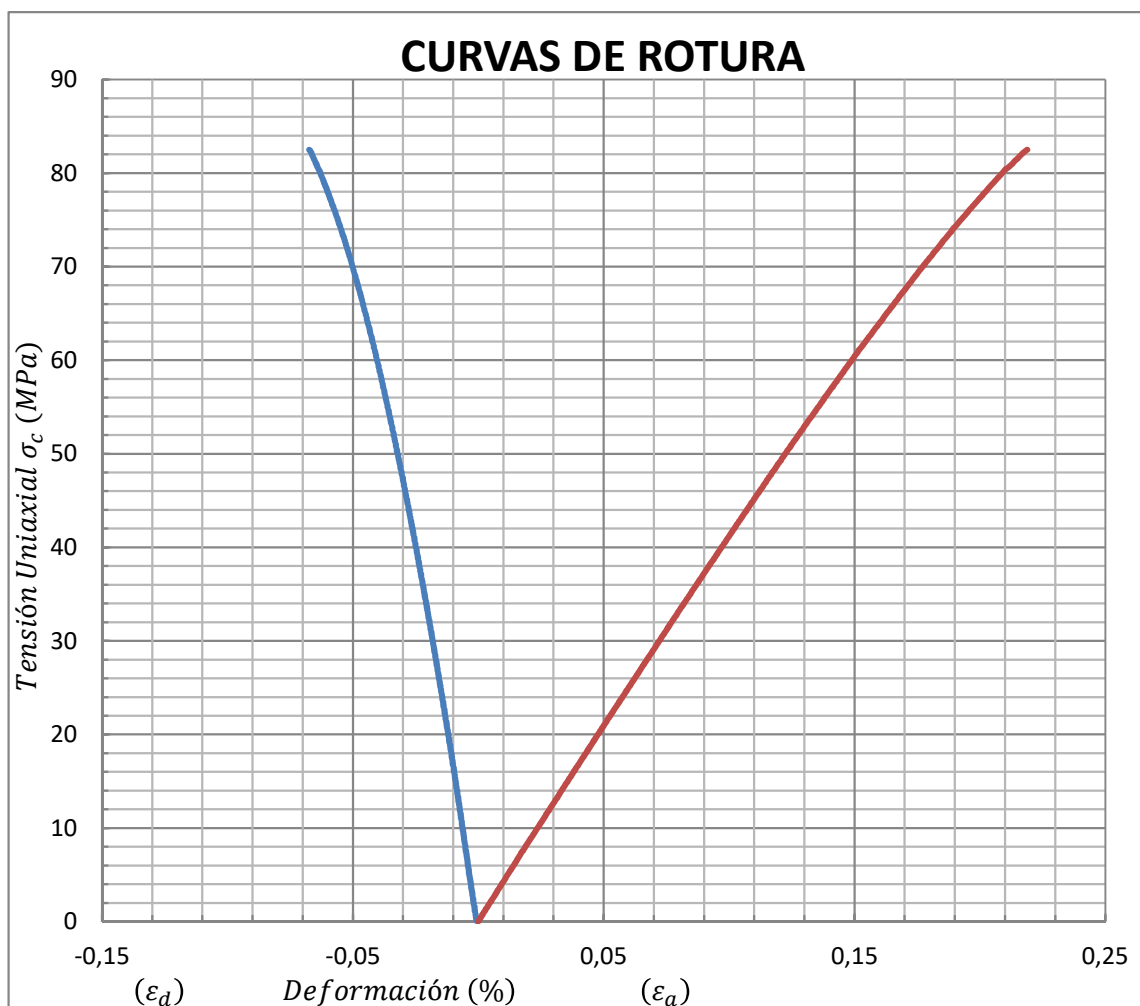
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>82,49</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	39,67
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



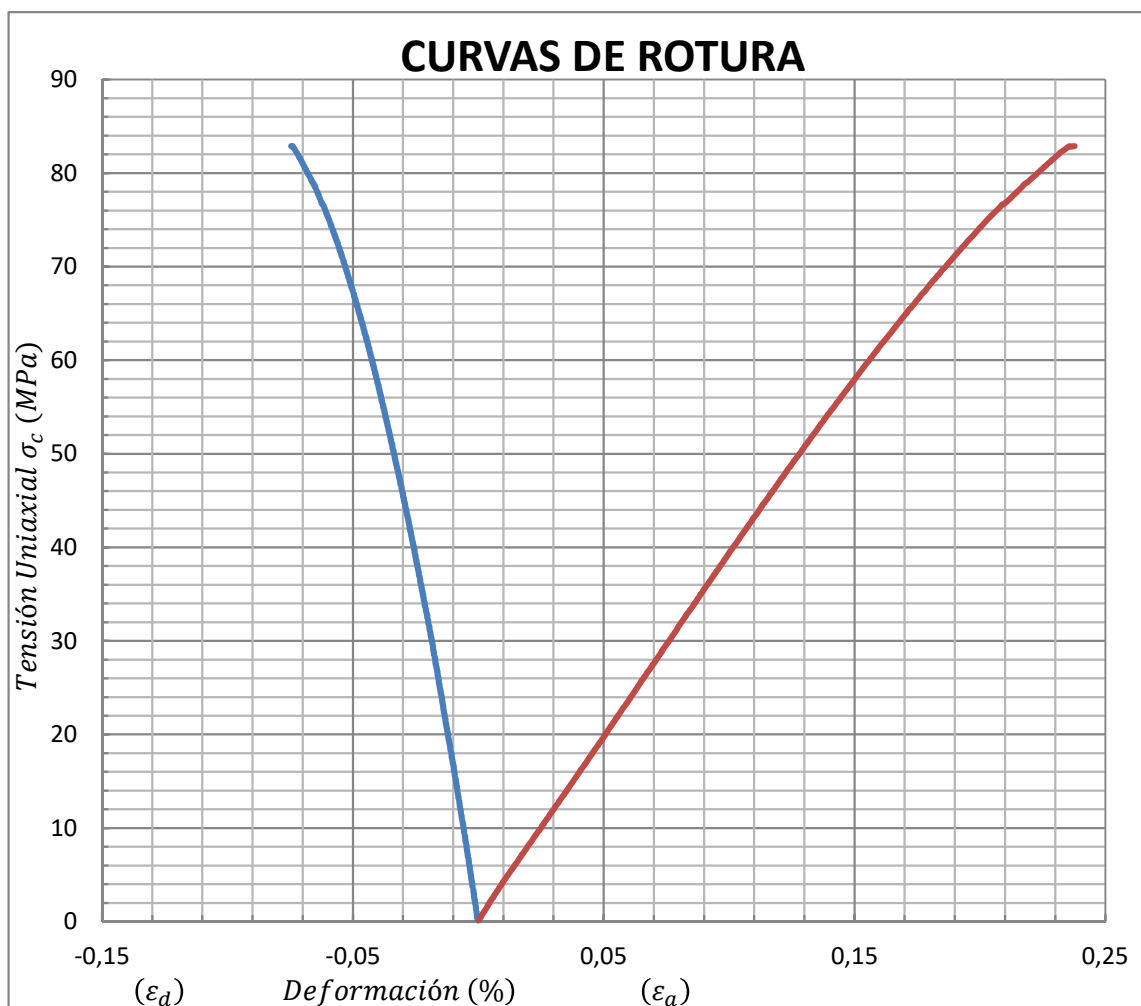
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>82,88</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	37,41
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



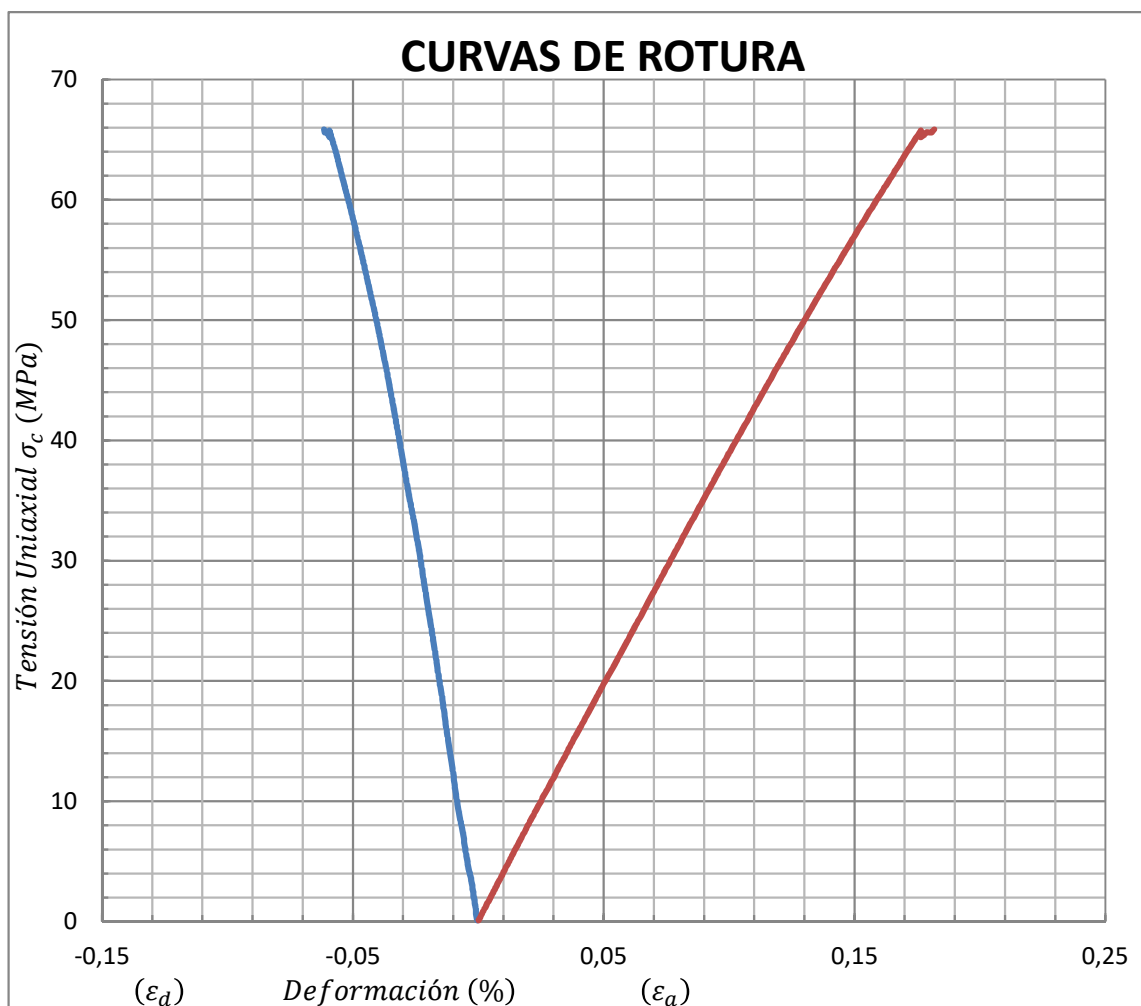
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano7**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>65,85</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	37,72
Coeficiente de Poisson	0,32
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



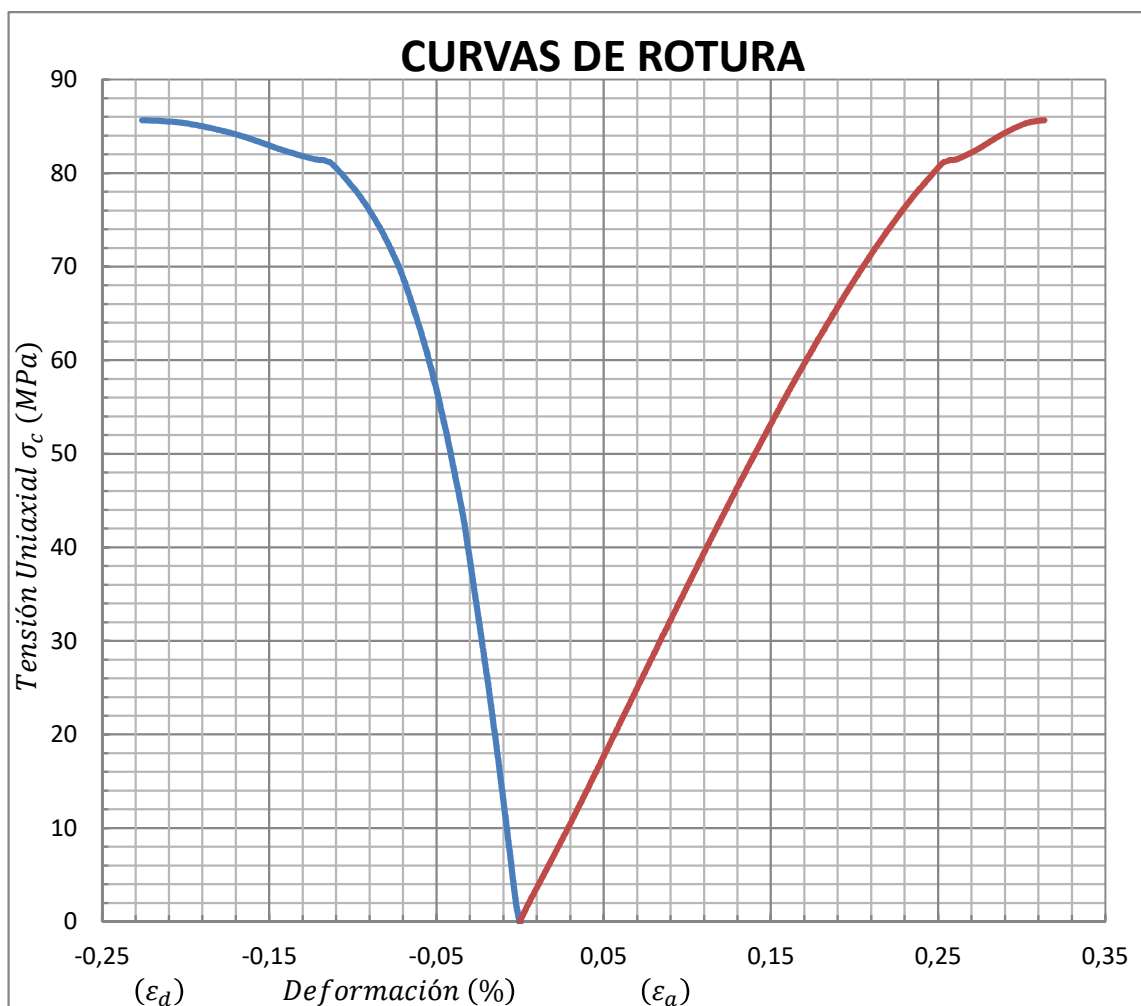
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano8

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>85,65</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	32,46
Coefficiente de Poisson	0,34
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



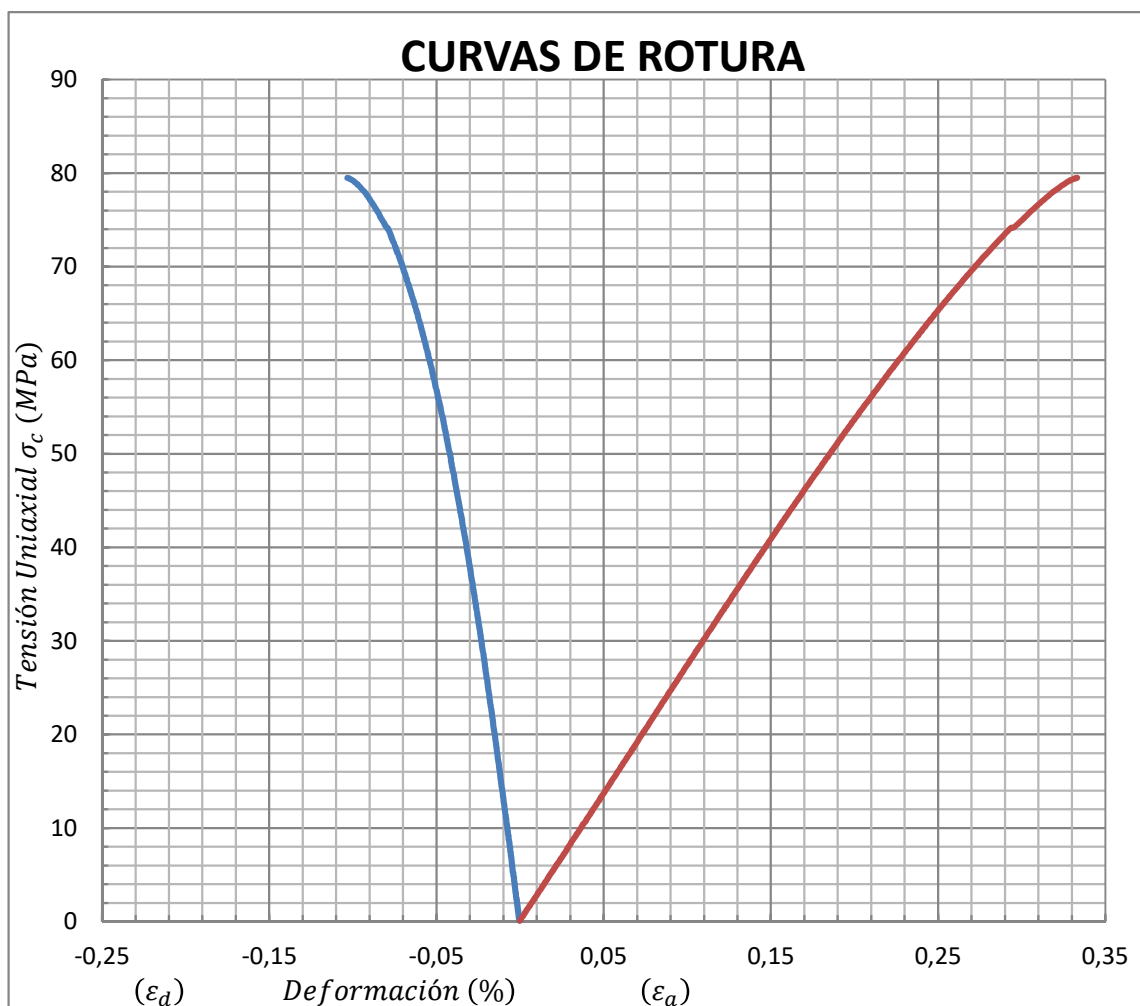
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano9**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>79,48</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	25,78
Coeficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



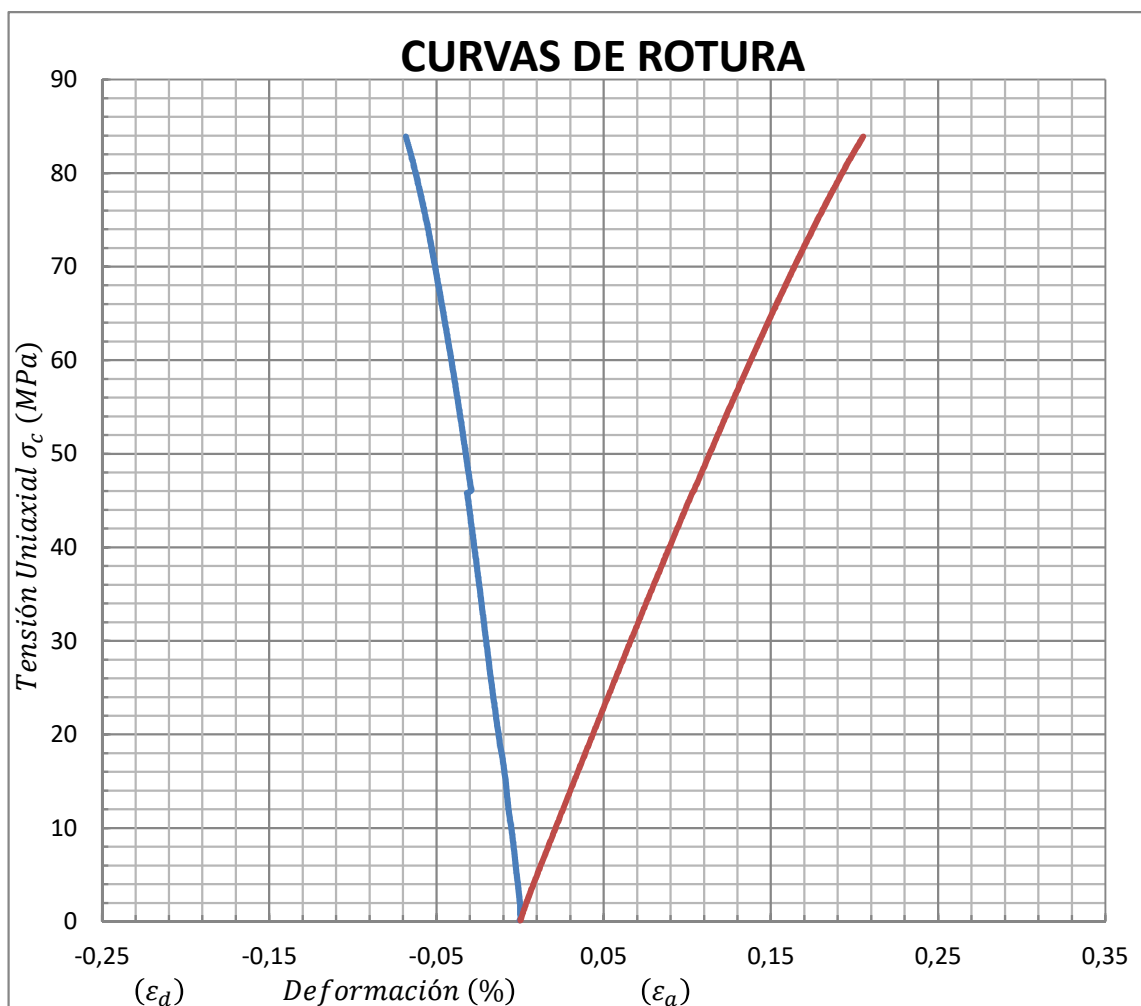
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano10

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>83,89</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	41,72
Coefficiente de Poisson	0,30
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





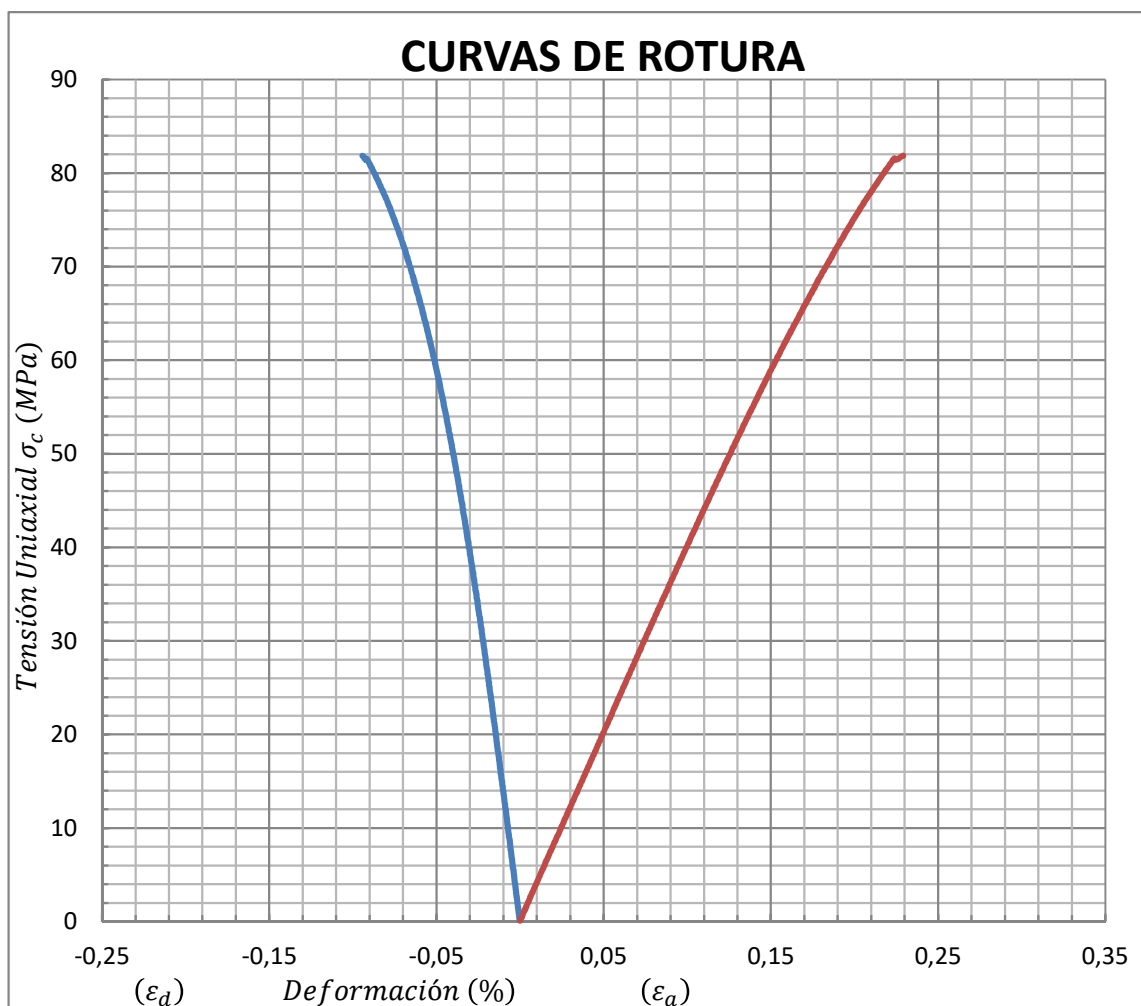
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano11

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>81,85</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	37,91
Coefficiente de Poisson	0,33
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



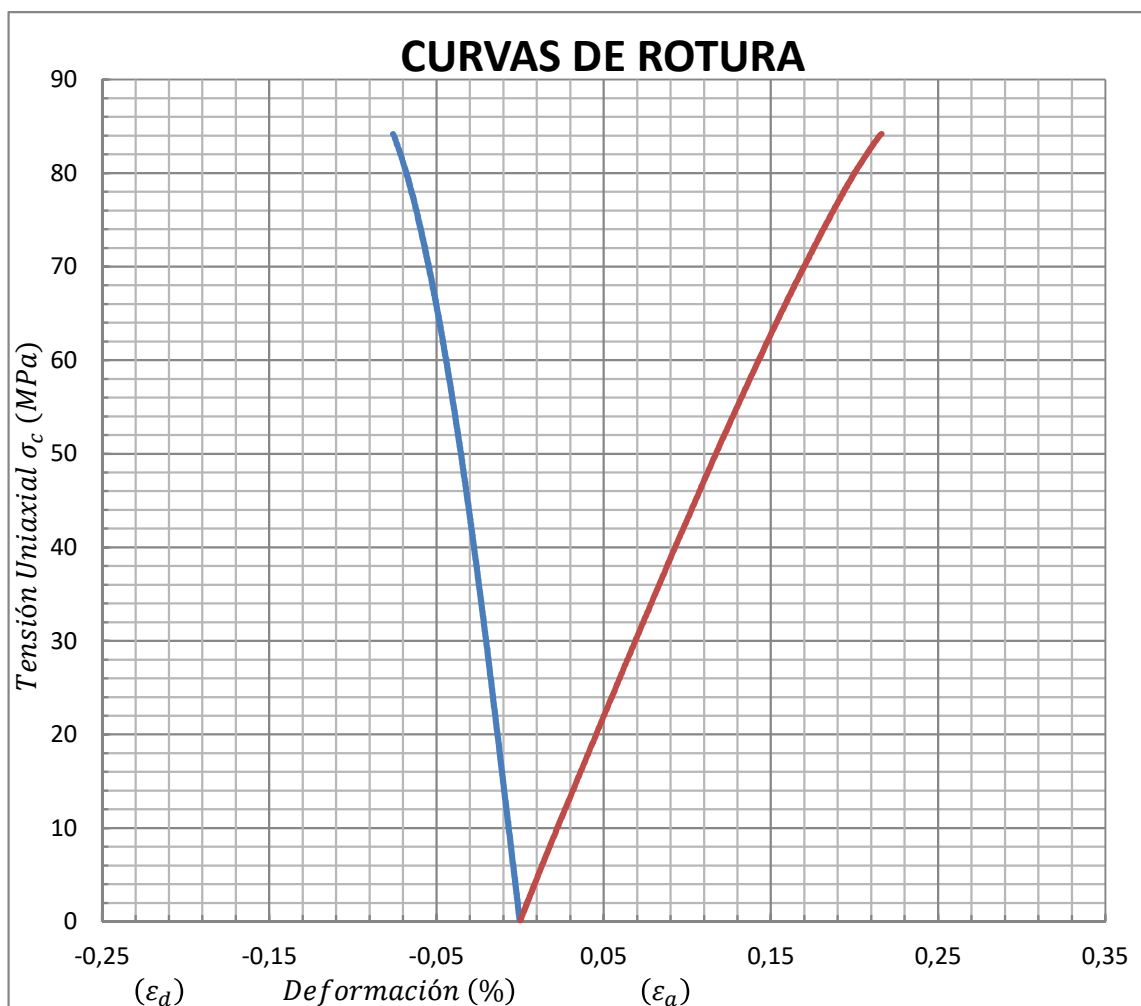
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano12**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>84,17</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	40,46
Coeficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





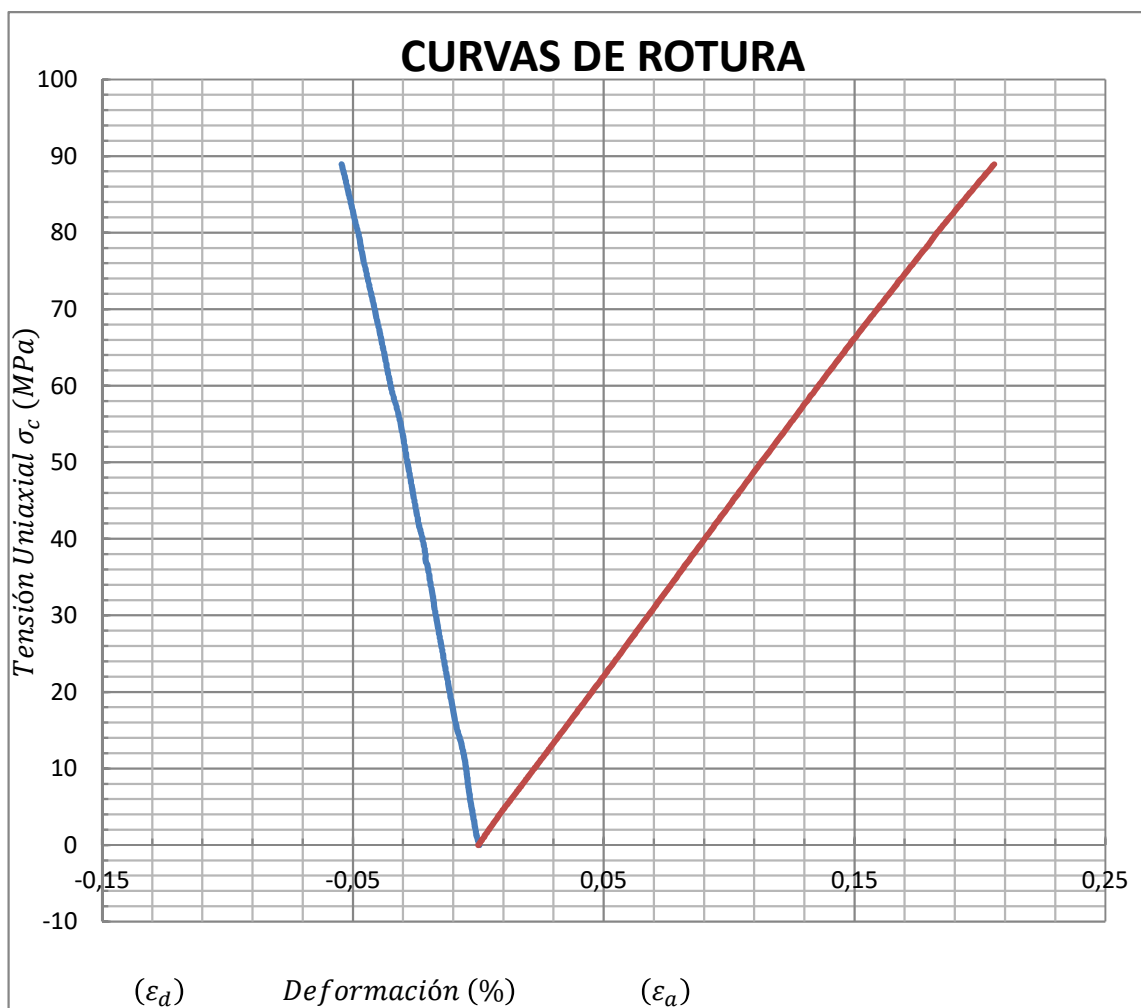
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>88,91</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	44,10
Coeficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



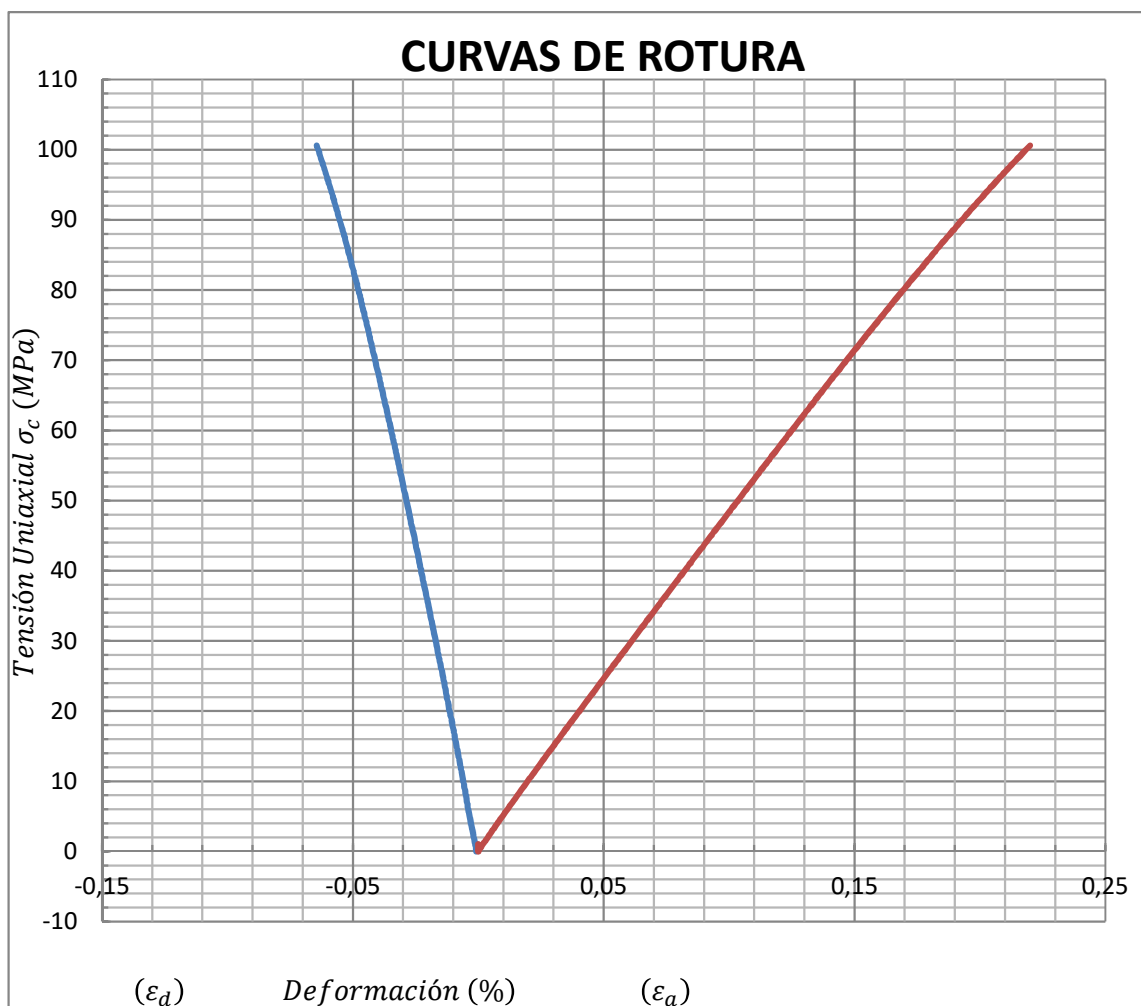
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>100,59</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	46,68
Coeficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



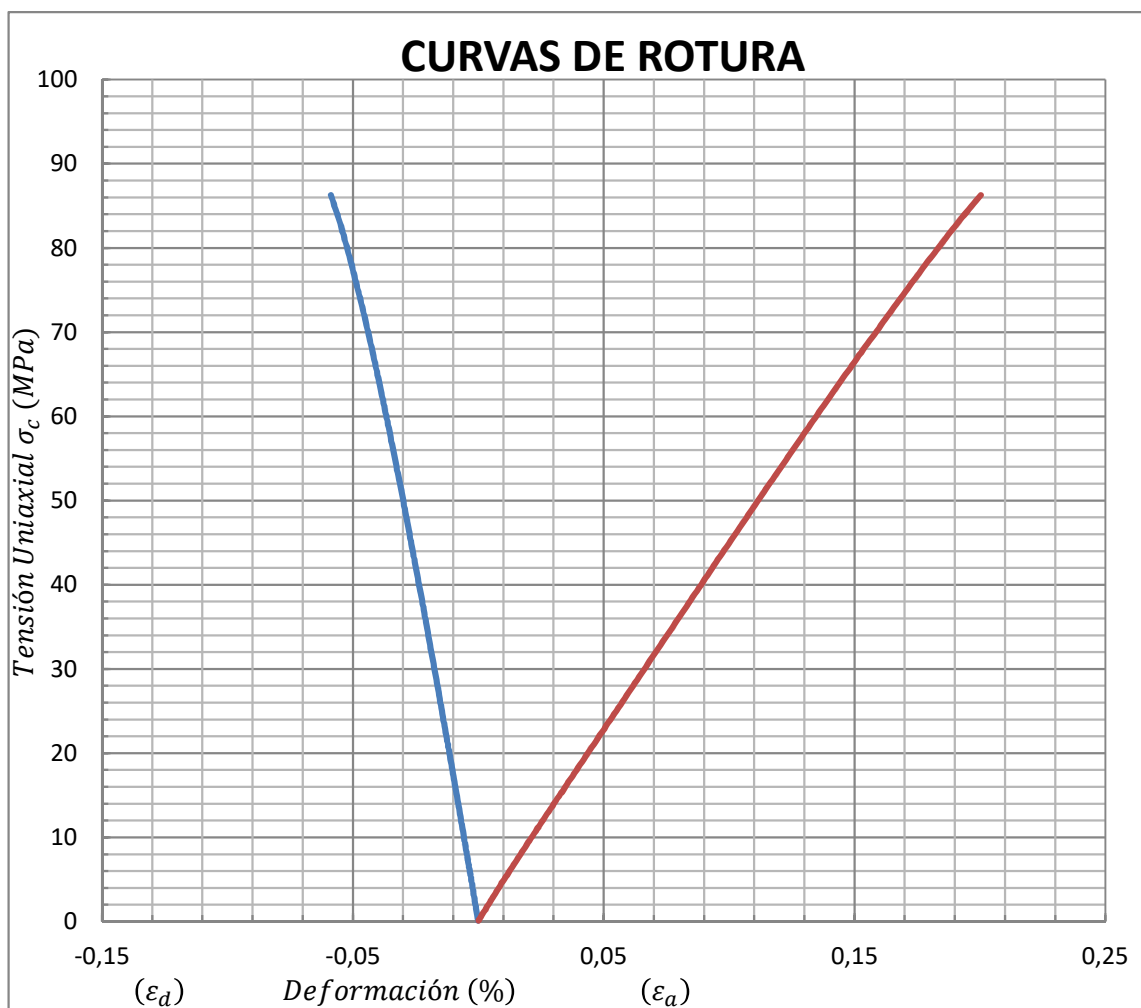
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>86,27</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	43,92
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



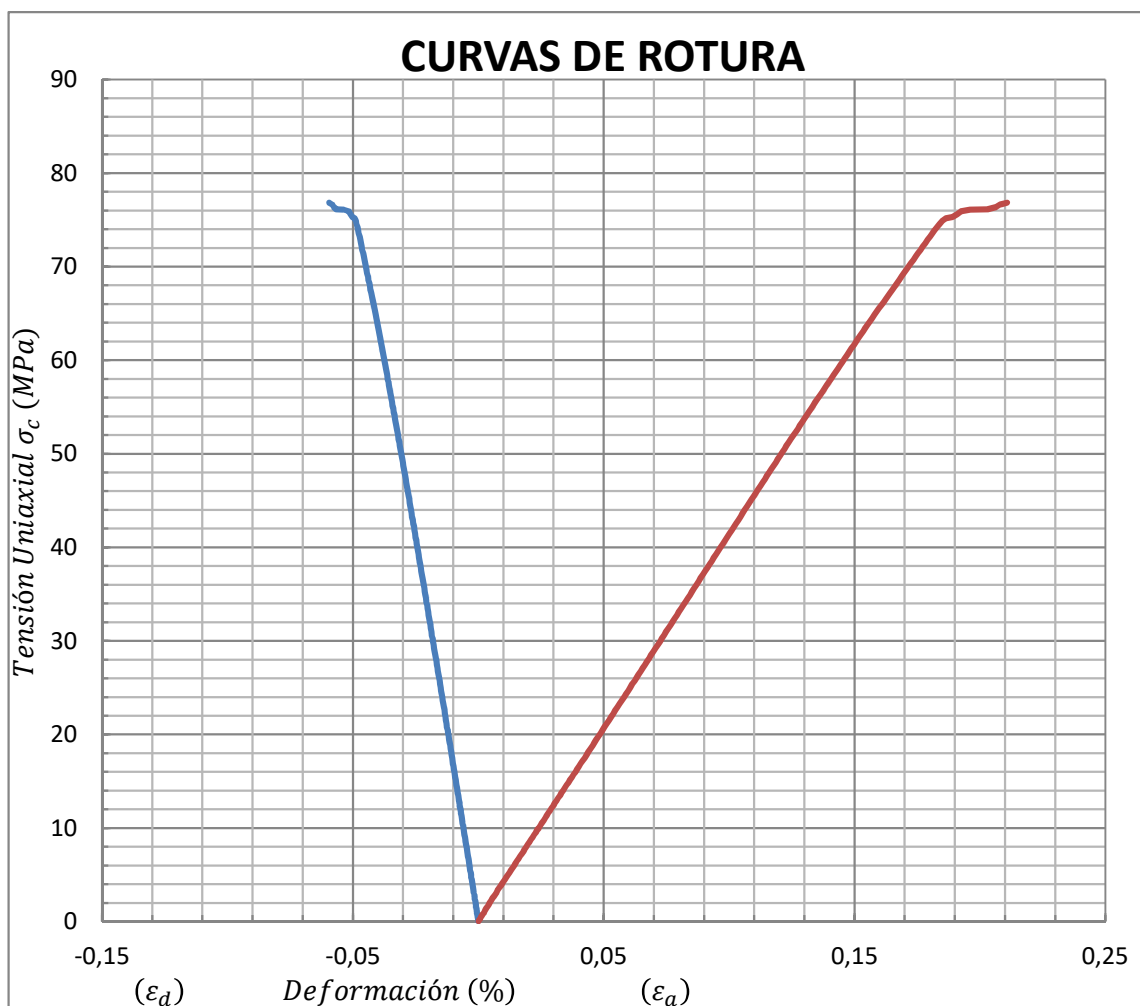
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>76,83</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	41,26
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



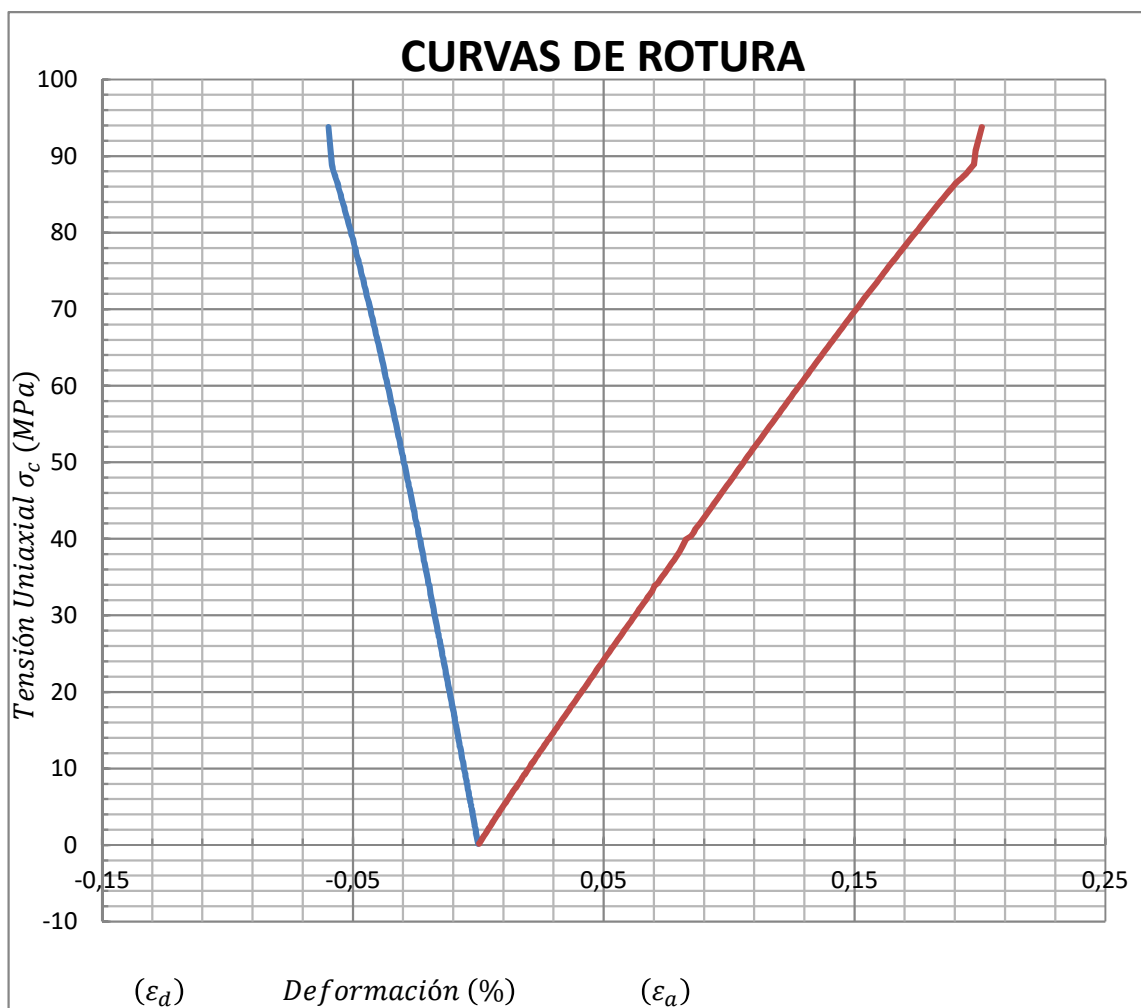
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

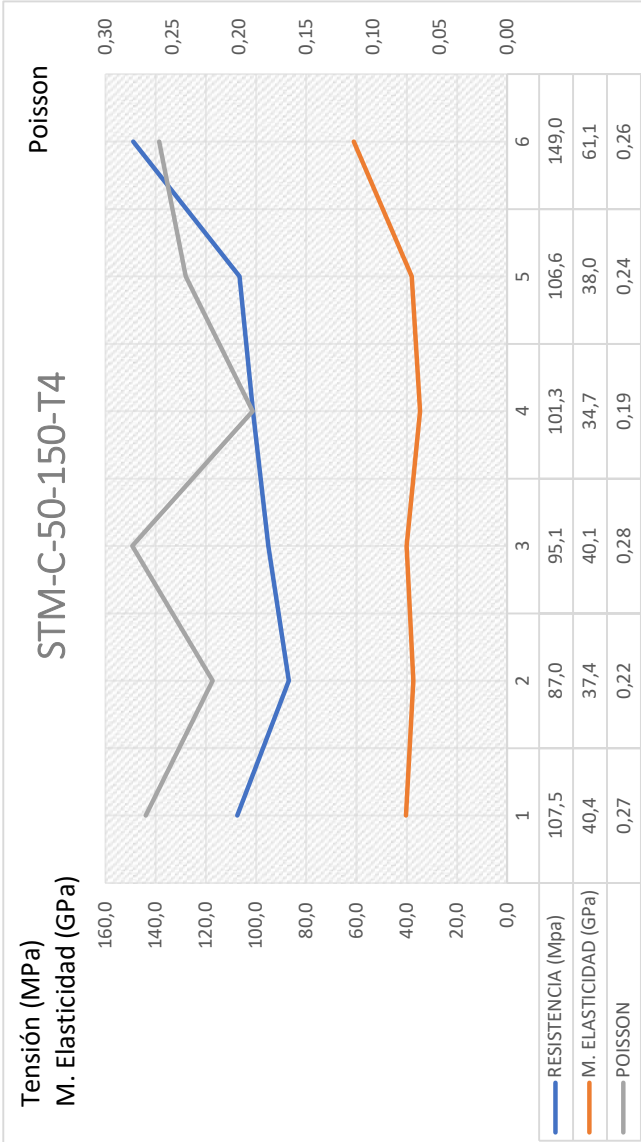
Muestra N°: Caliza-Moleano6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>93,77</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	45,96
Coefficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00





ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
CALIZA MOLEANO		T4	150°C		
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. YOUNG/RESISTENCIA
1	0,27	40,4	107,5	107,5	0,4
2	0,22	37,4	87,0	87,0	0,4
3	0,28	40,1	95,1	95,1	0,4
4	0,19	34,7	101,3	101,3	0,3
5	0,24	38,0	106,6	106,6	0,4
6	0,26	61,1	149,0	149,0	0,4
	<b>0,24</b>	<b>41,9</b>	<b>107,8</b>	<b>107,8</b>	<b>0,4</b>



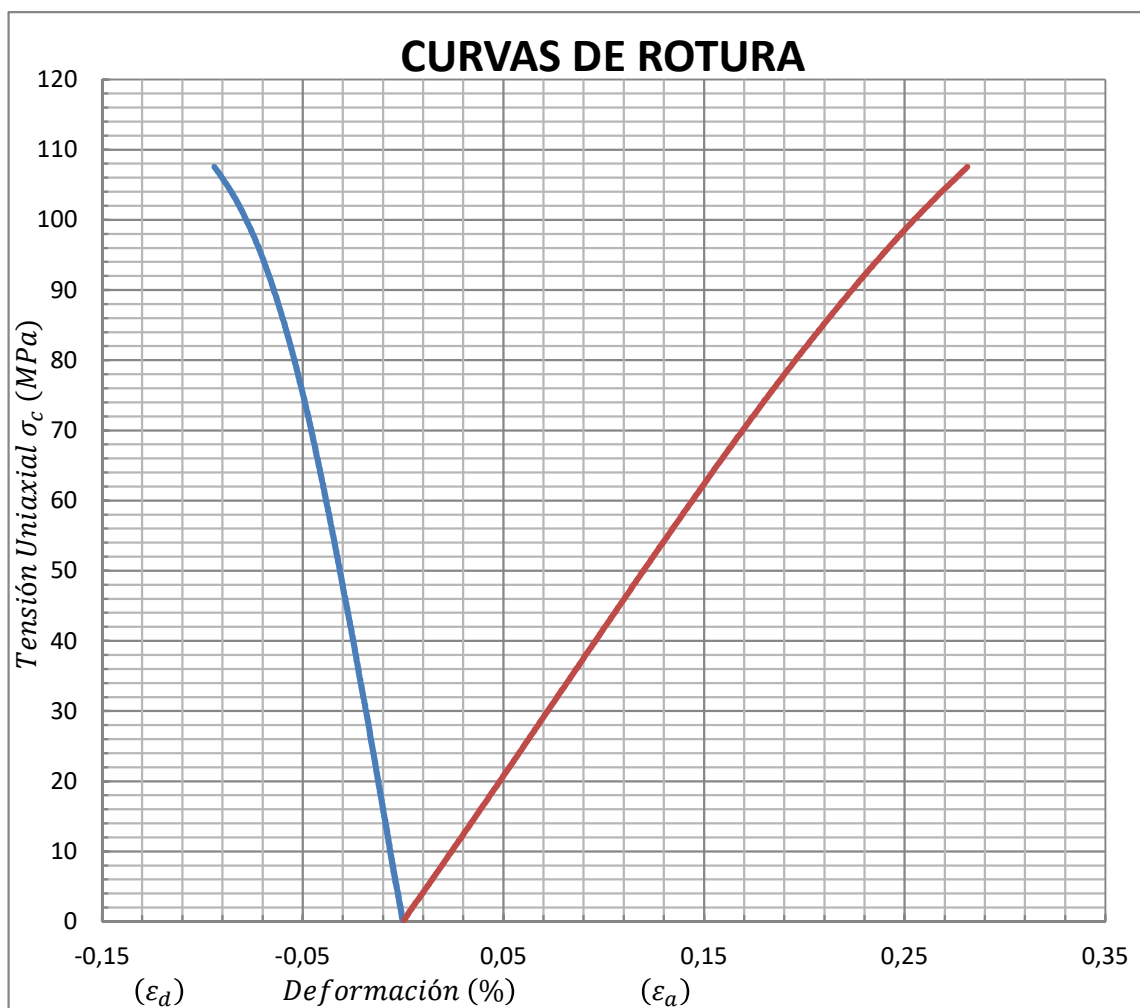
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano1**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>107,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	40,37
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



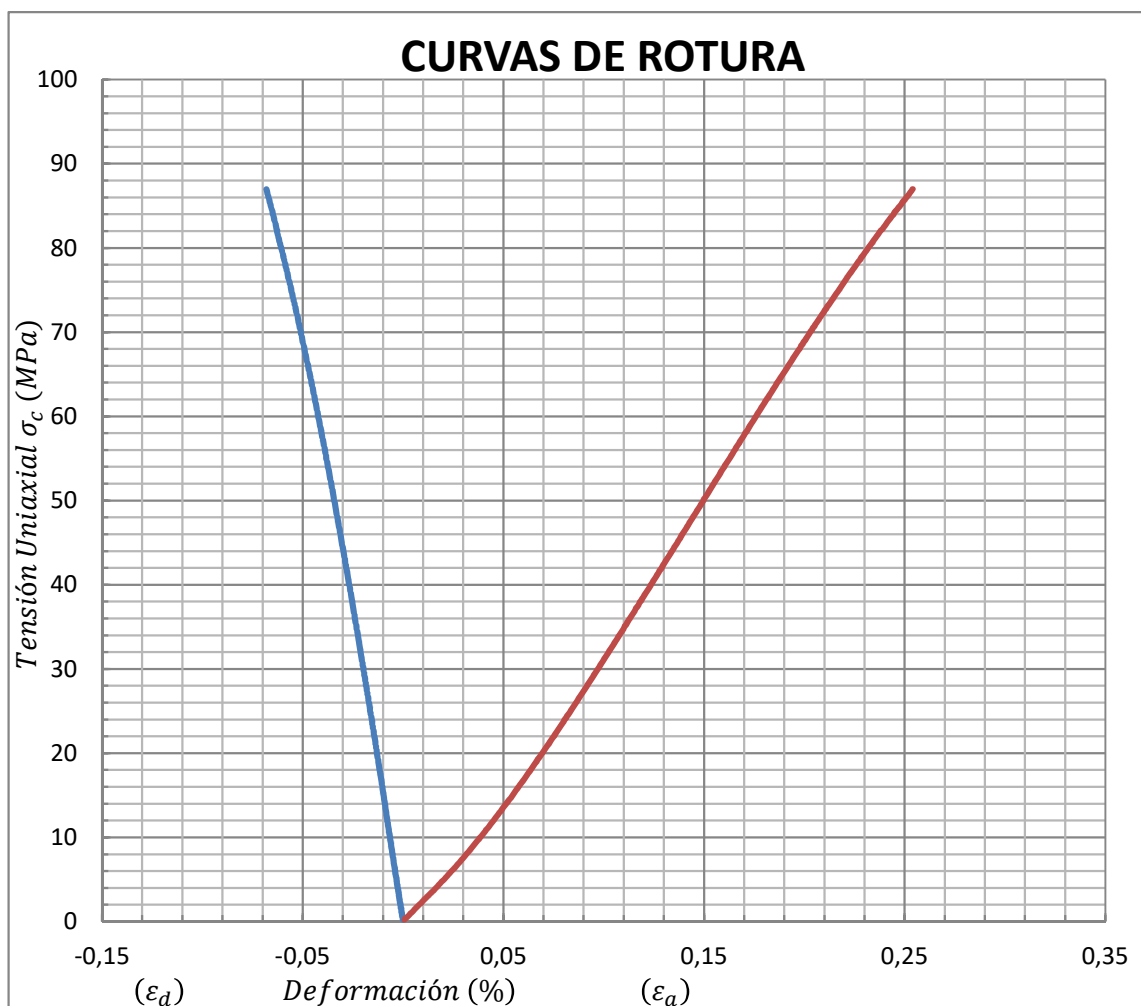
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>86,96</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	37,39
Coefficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



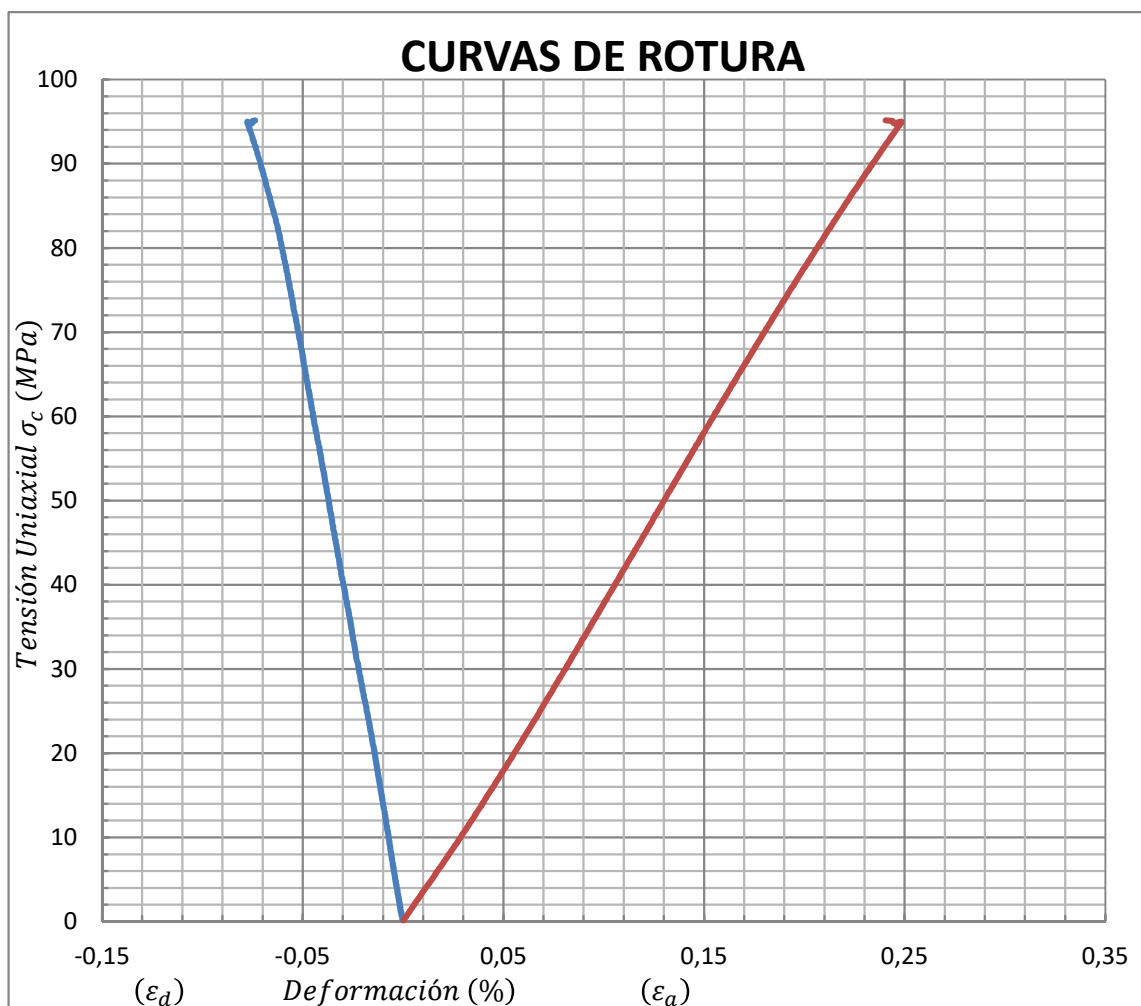
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>95,14</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	40,09
Coefficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



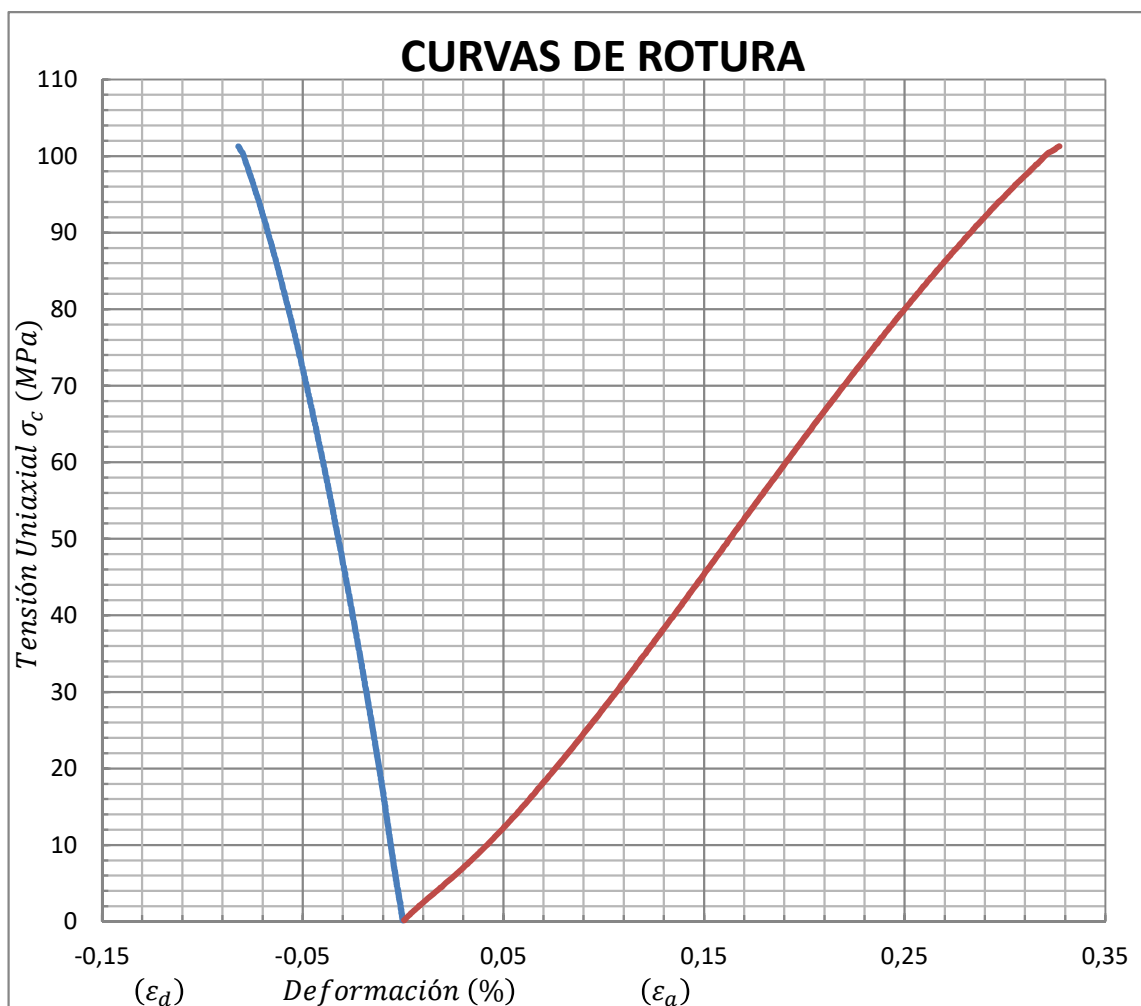
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>101,26</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	34,65
Coefficiente de Poisson	0,19
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



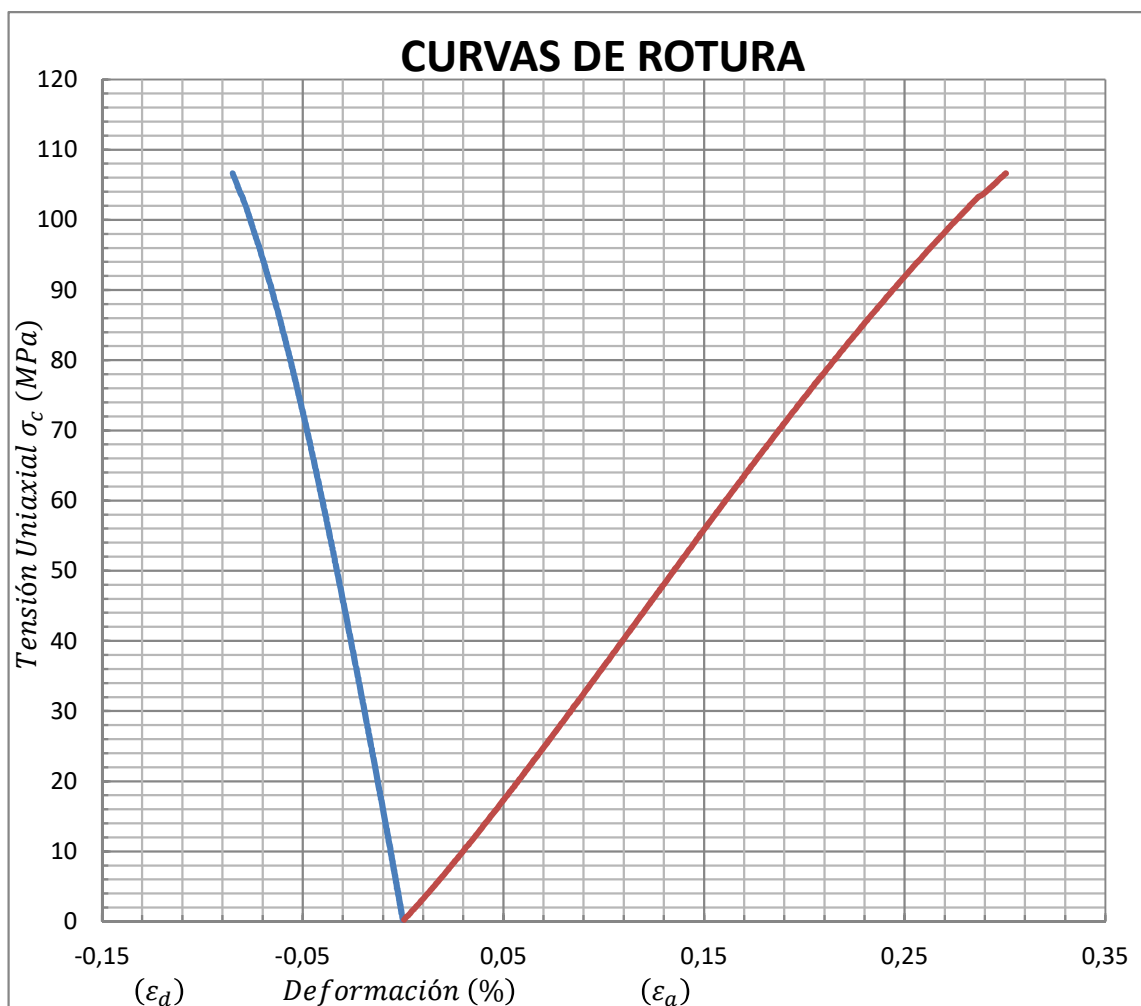
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>106,63</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	38,03
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



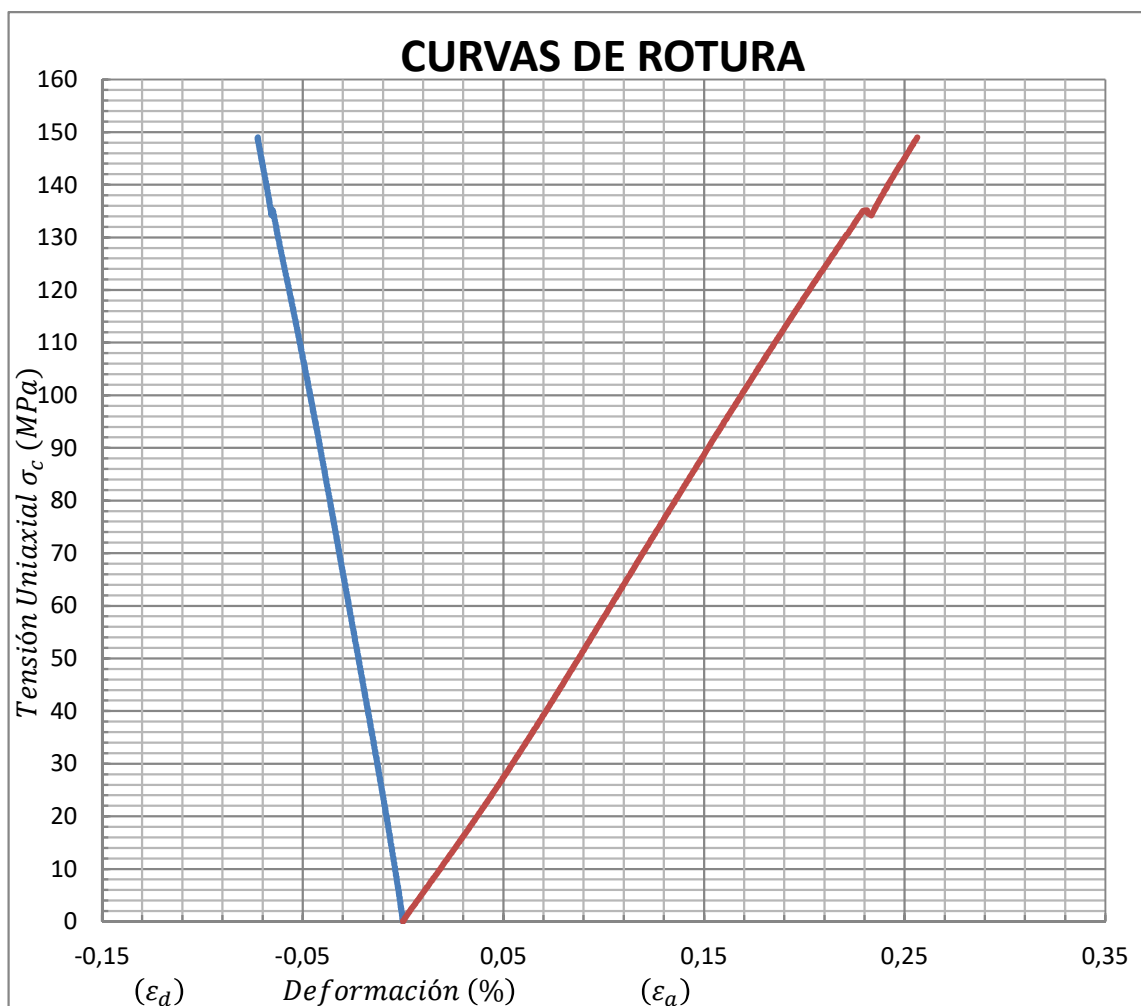
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

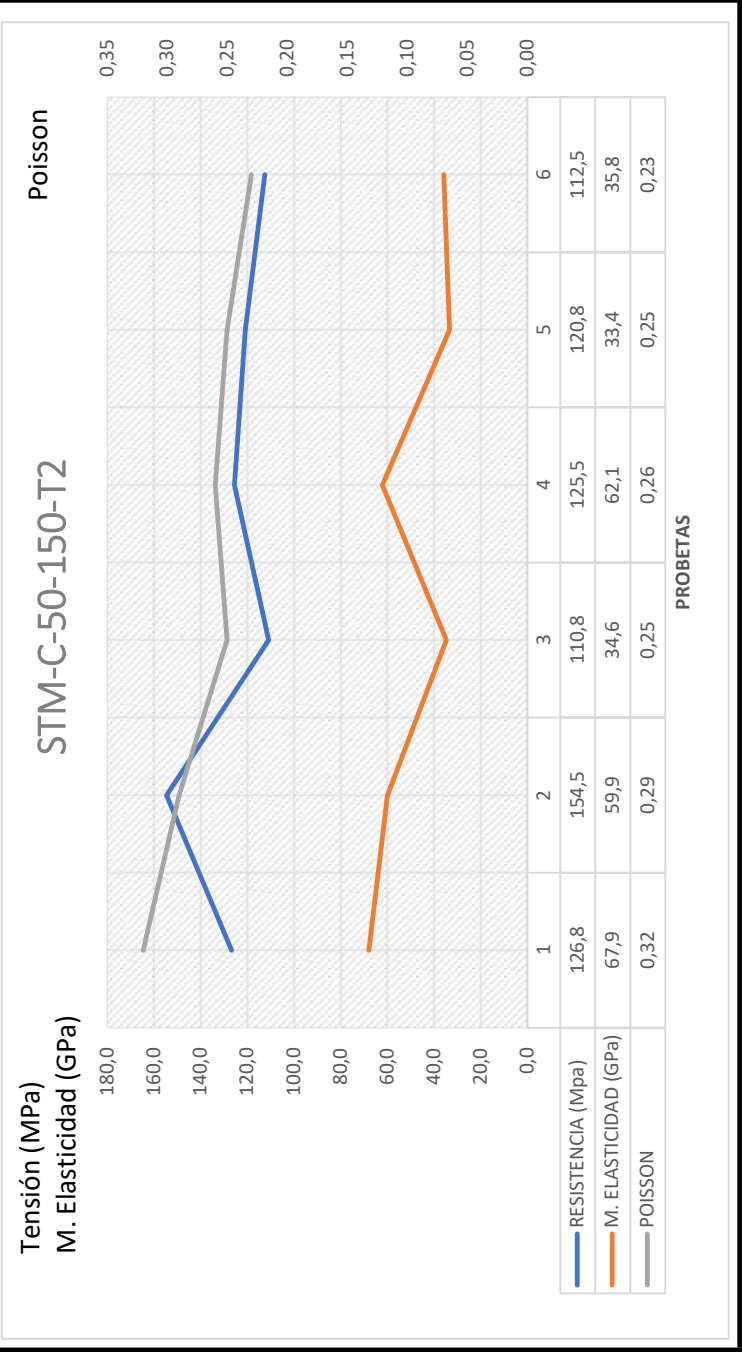
(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano6**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>148,99</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	61,06
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
CALIZA MOLEANO		T2	250°C		
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. YOUNG/RESITENCIA
1	0,32	67,9	126,8	126,8	0,5
2	0,29	59,9	154,5	154,5	0,4
3	0,25	34,6	110,8	110,8	0,3
4	0,26	62,1	125,5	125,5	0,5
5	0,25	33,4	120,8	120,8	0,3
6	0,23	35,8	112,5	112,5	0,3
	<b>0,27</b>	<b>49,0</b>	<b>125,1</b>	<b>125,1</b>	<b>0,4</b>





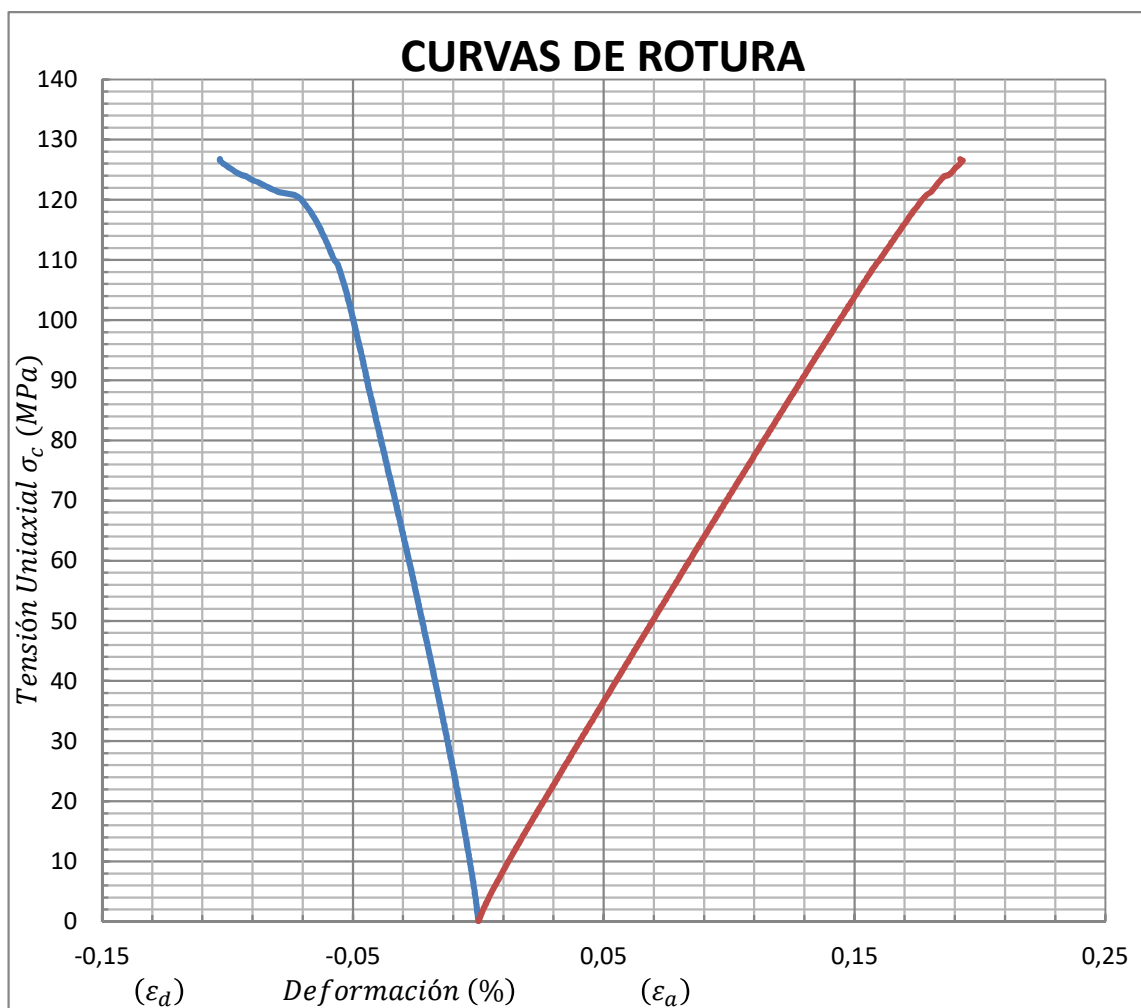
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>126,76</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	67,94
Coefficiente de Poisson	0,32
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



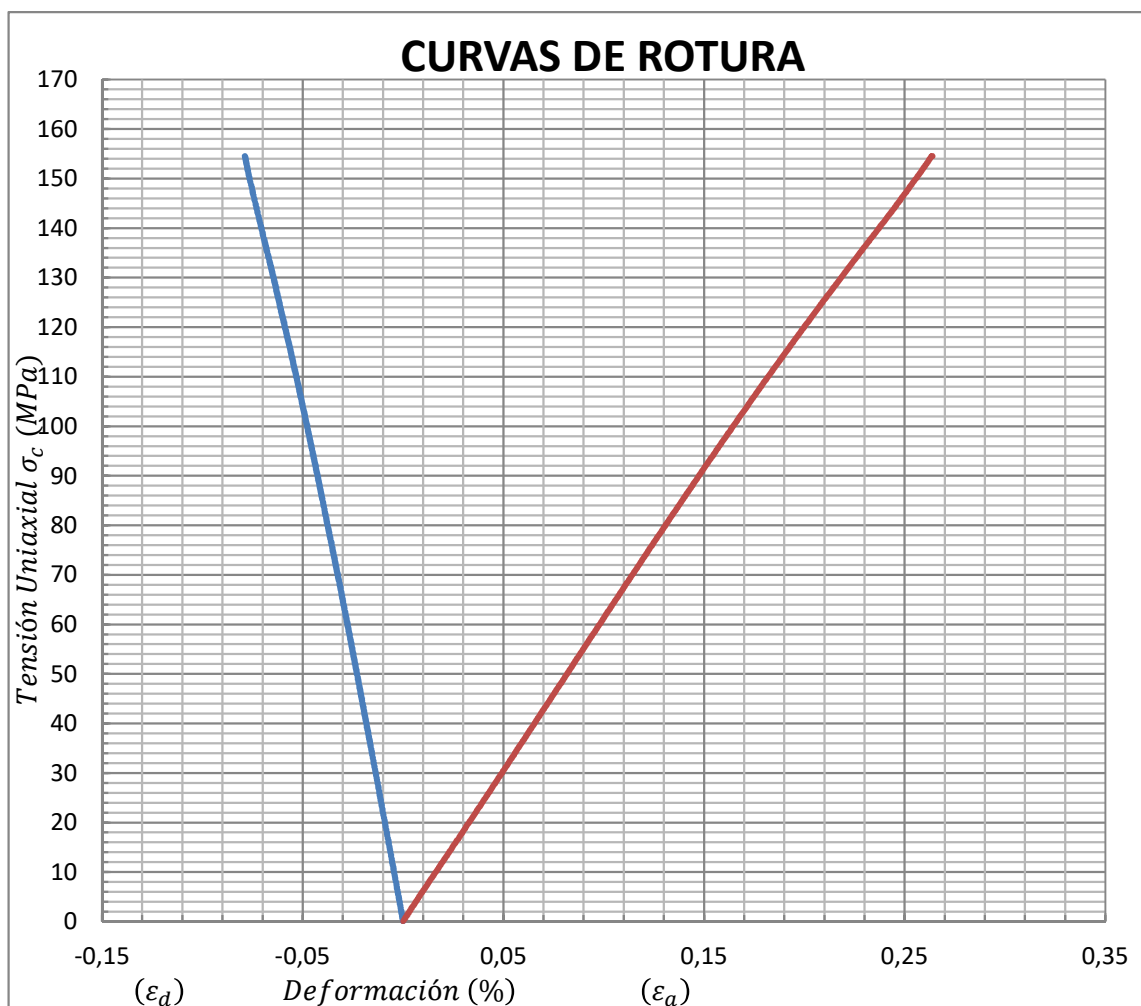
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>154,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	59,93
Coefficiente de Poisson	0,29
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



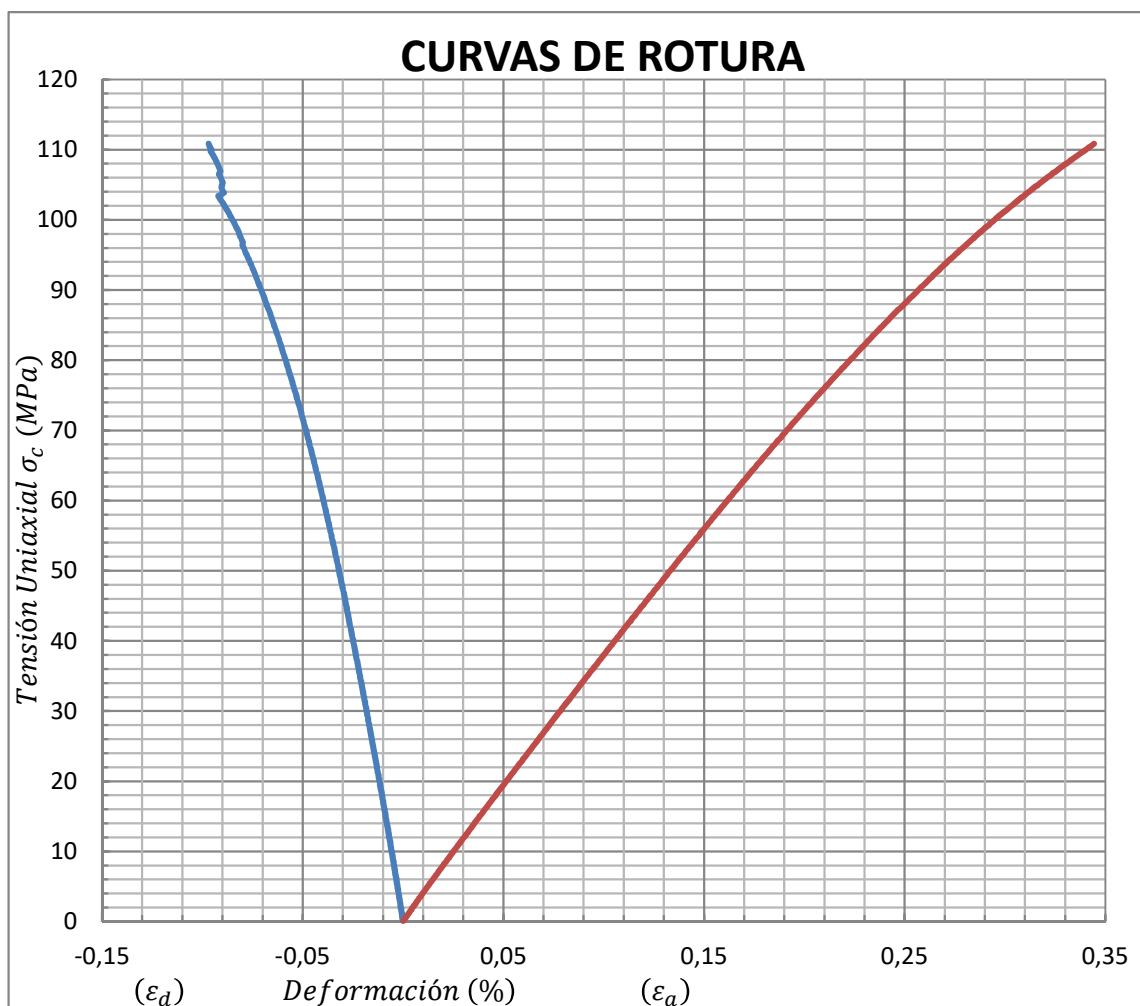
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Caliza-Moleano3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>110,83</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	34,63
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



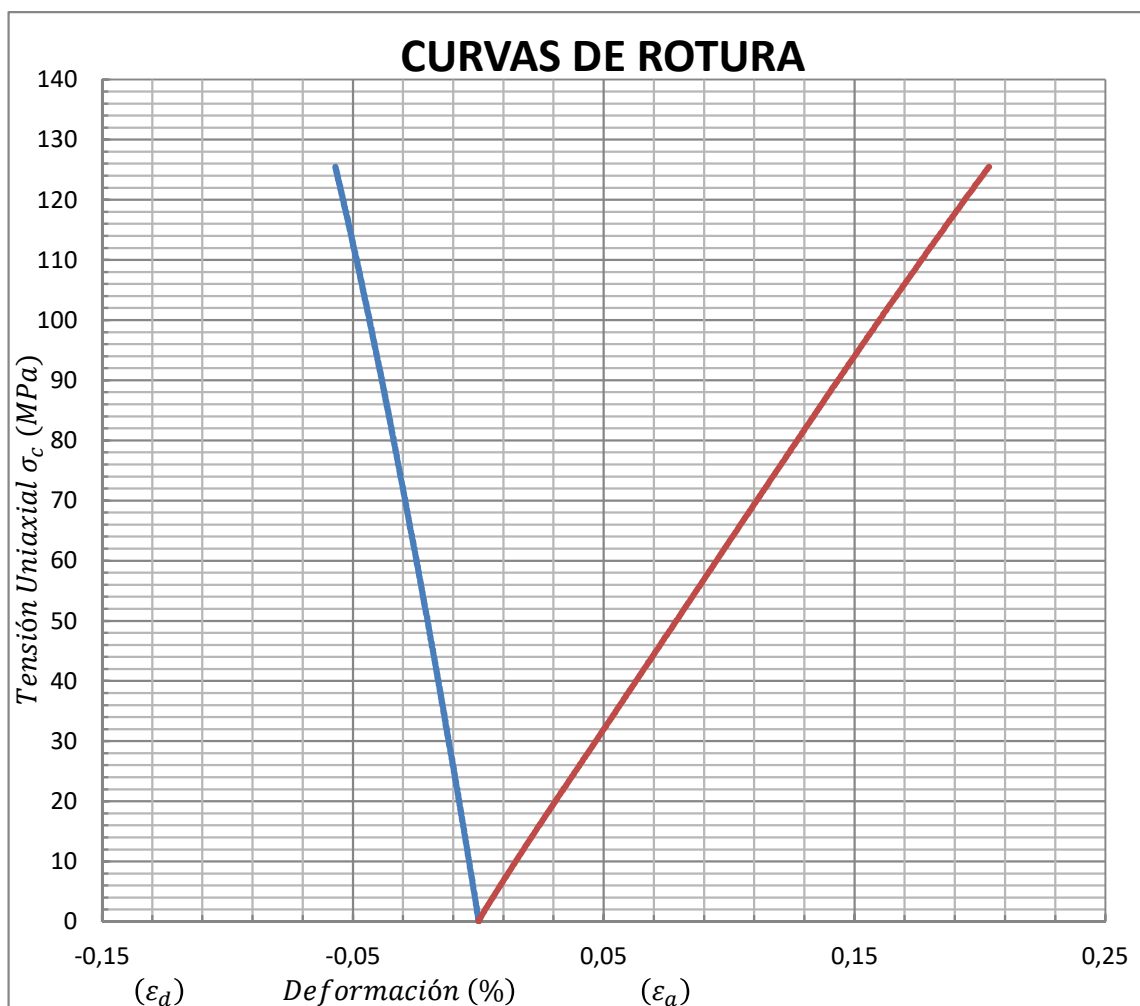
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>125,49</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	62,10
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



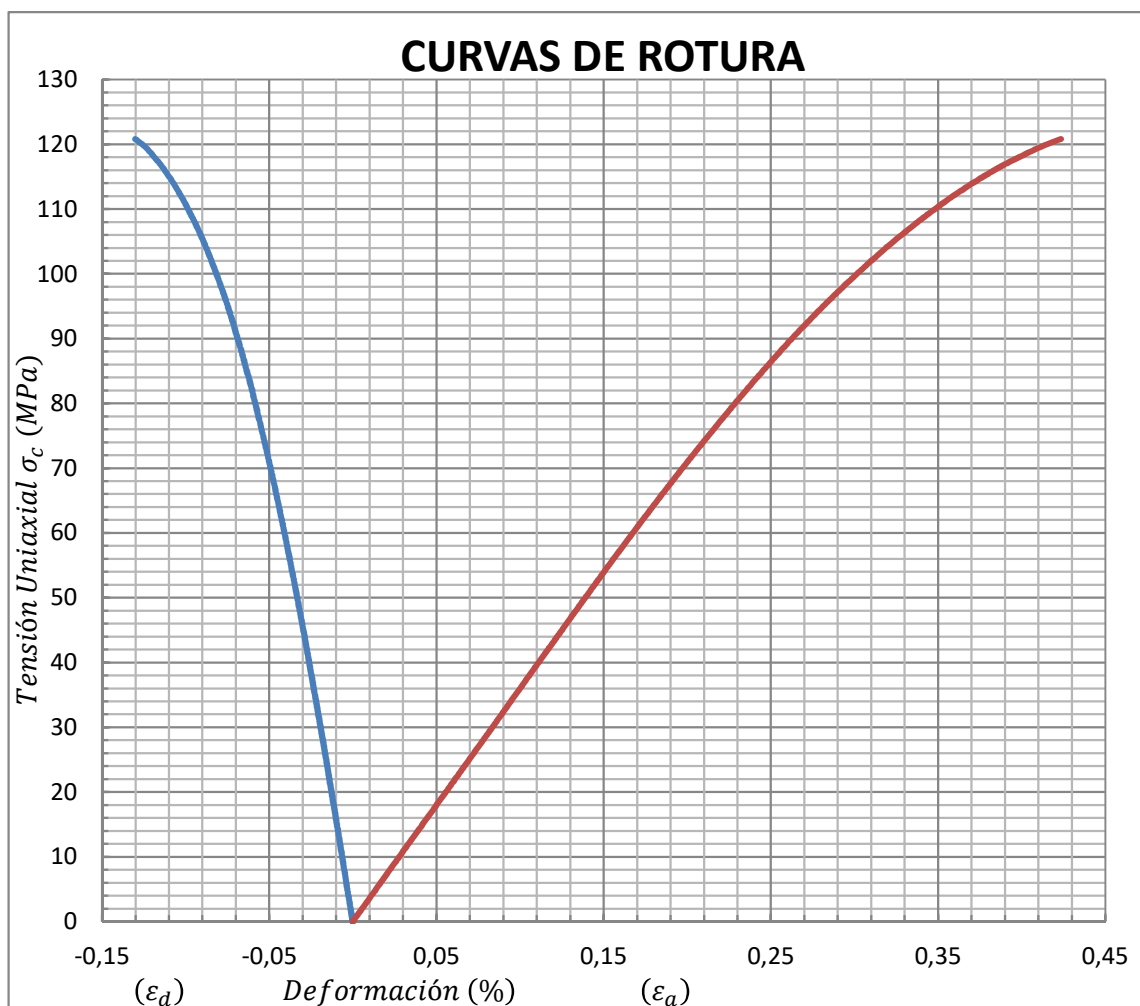
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>120,80</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	33,36
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



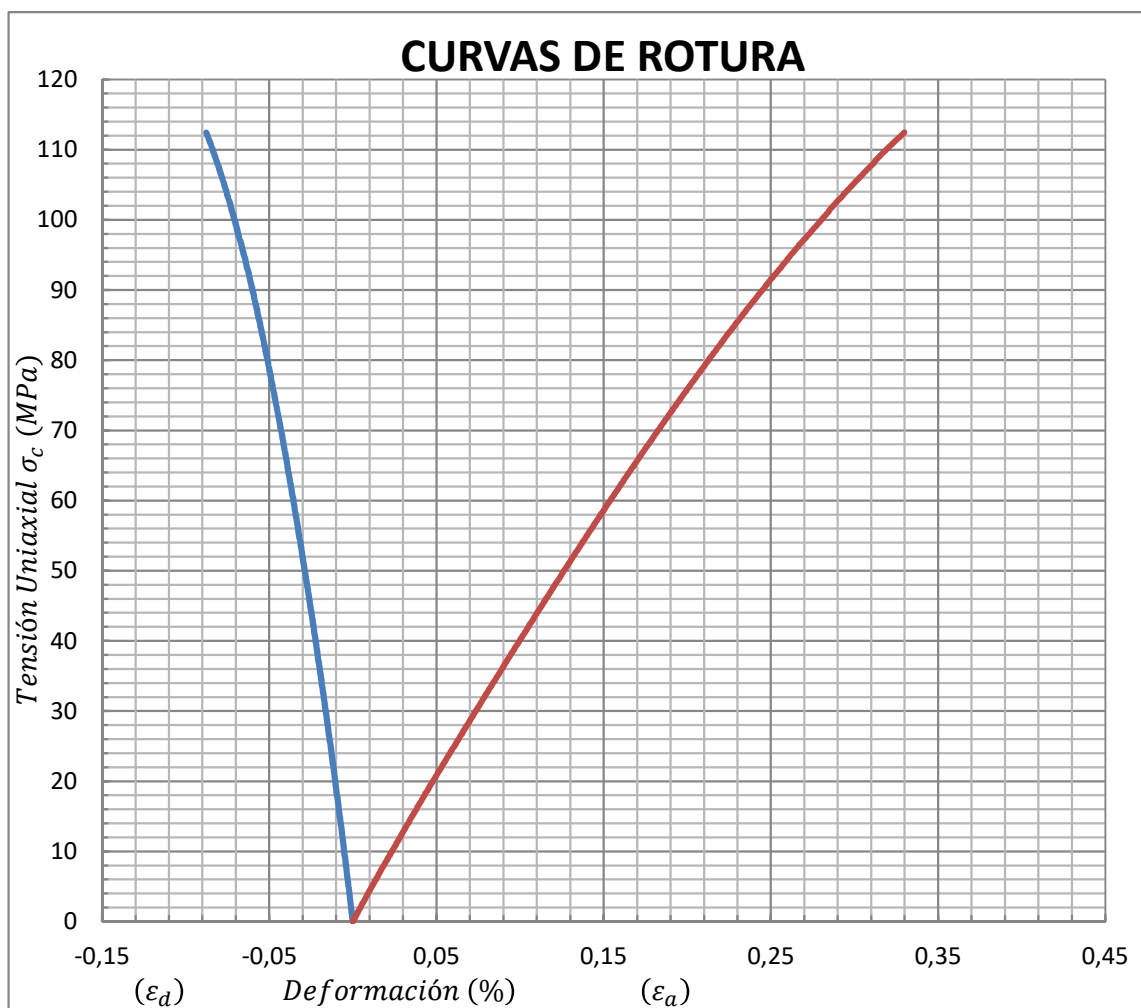
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

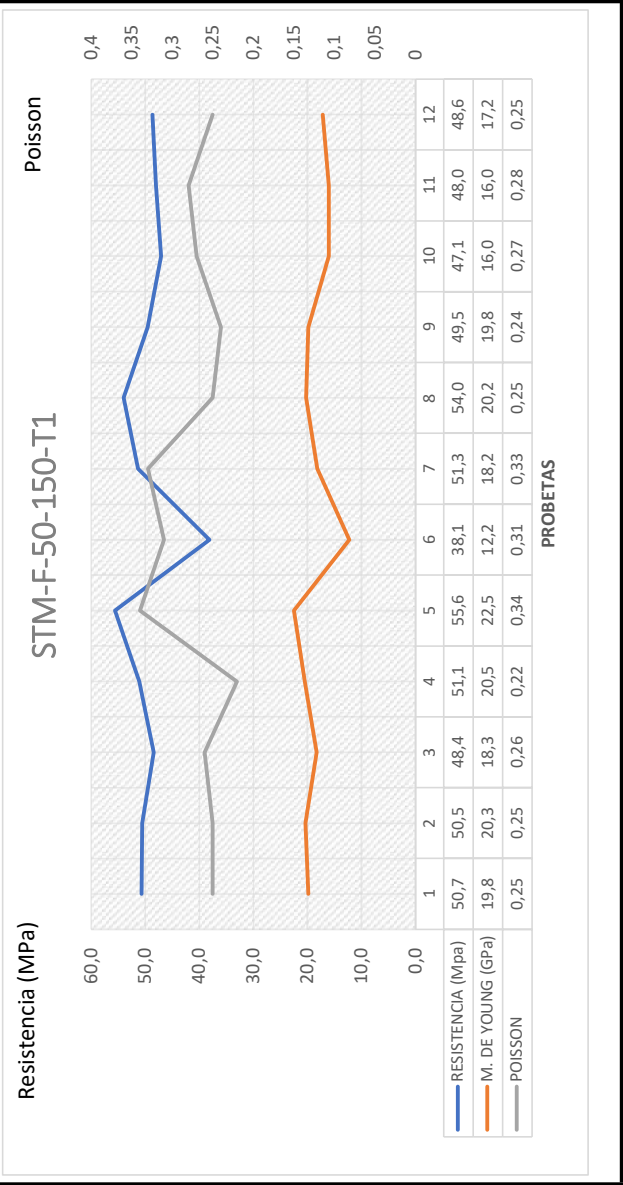
(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Caliza-Moleano6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>112,45</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	35,84
Coefficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
ARENISCA FLORESTA		T1		23°C	
PROBETA	POISSON	M. DE YOUNG (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. DE YOUNG FILTRO (GPa)
1	0,25	19,8	50,7	50,7	19,8
2	0,25	20,3	50,5	50,5	20,3
3	0,26	18,3	48,4	48,4	18,3
4	0,22	20,5	51,1	51,1	20,5
5	0,34	22,5	55,6	55,6	22,5
6	0,31	12,2	38,1	0,0	0,0
7	0,33	18,2	51,3	51,3	18,2
8	0,25	20,2	54,0	54,0	20,2
9	0,24	19,8	49,5	49,5	19,8
10	0,27	16,0	47,1	47,1	16,0
11	0,28	16,0	48,0	48,0	16,0
12	0,25	17,2	48,6	48,6	17,2
Promedio	0,27	18,4	49,4	46,2	17,4
					0,4



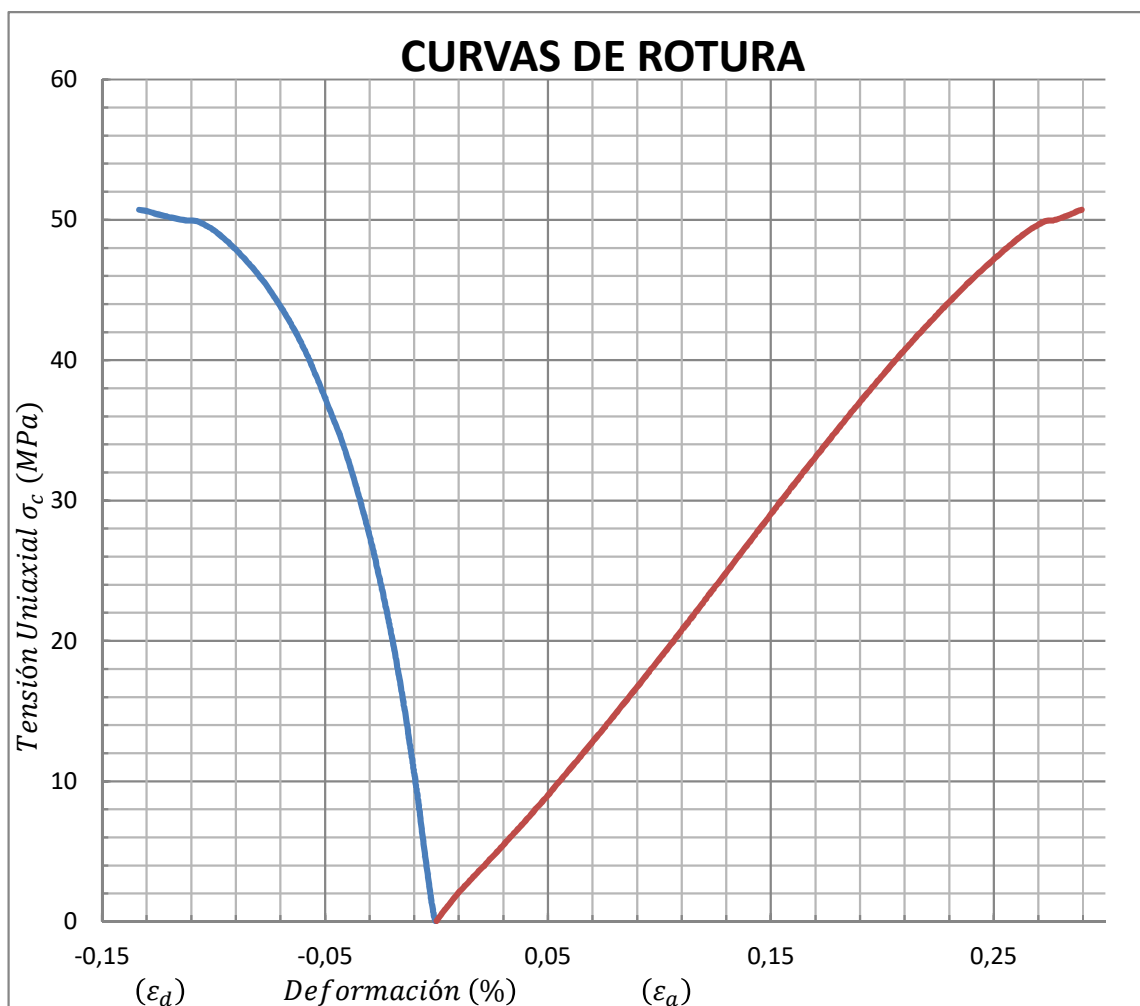
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>50,71</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,83
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





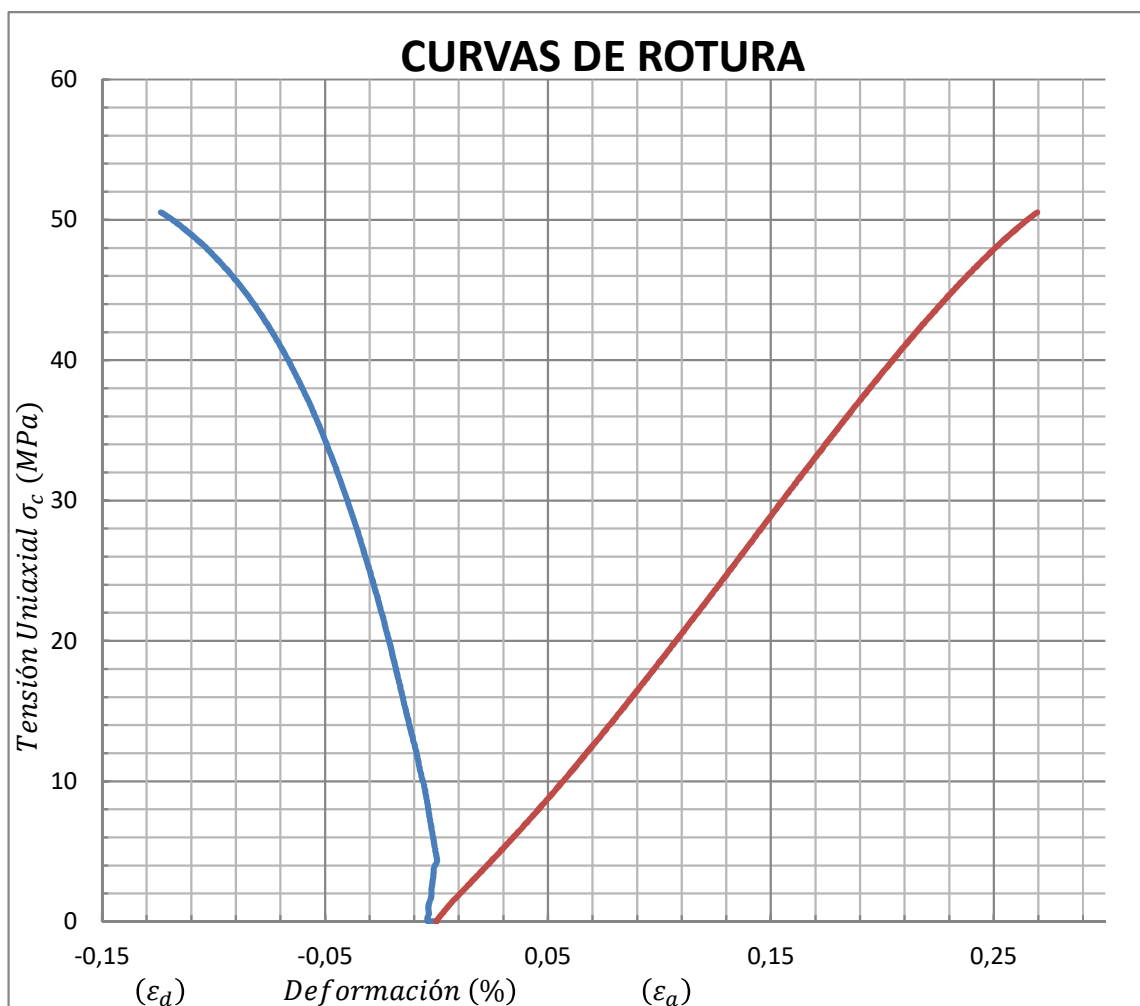
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>50,53</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,34
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



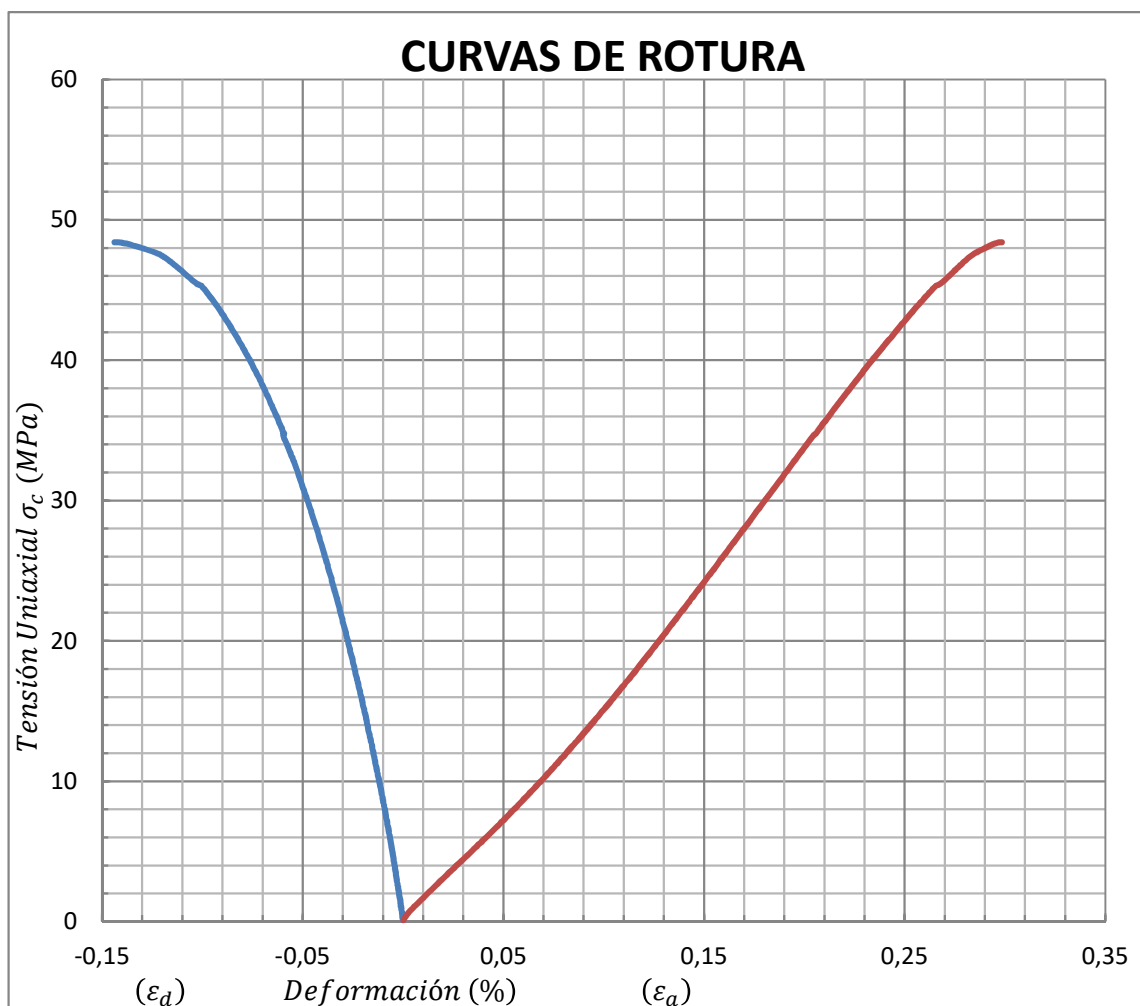
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>48,40</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	18,31
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



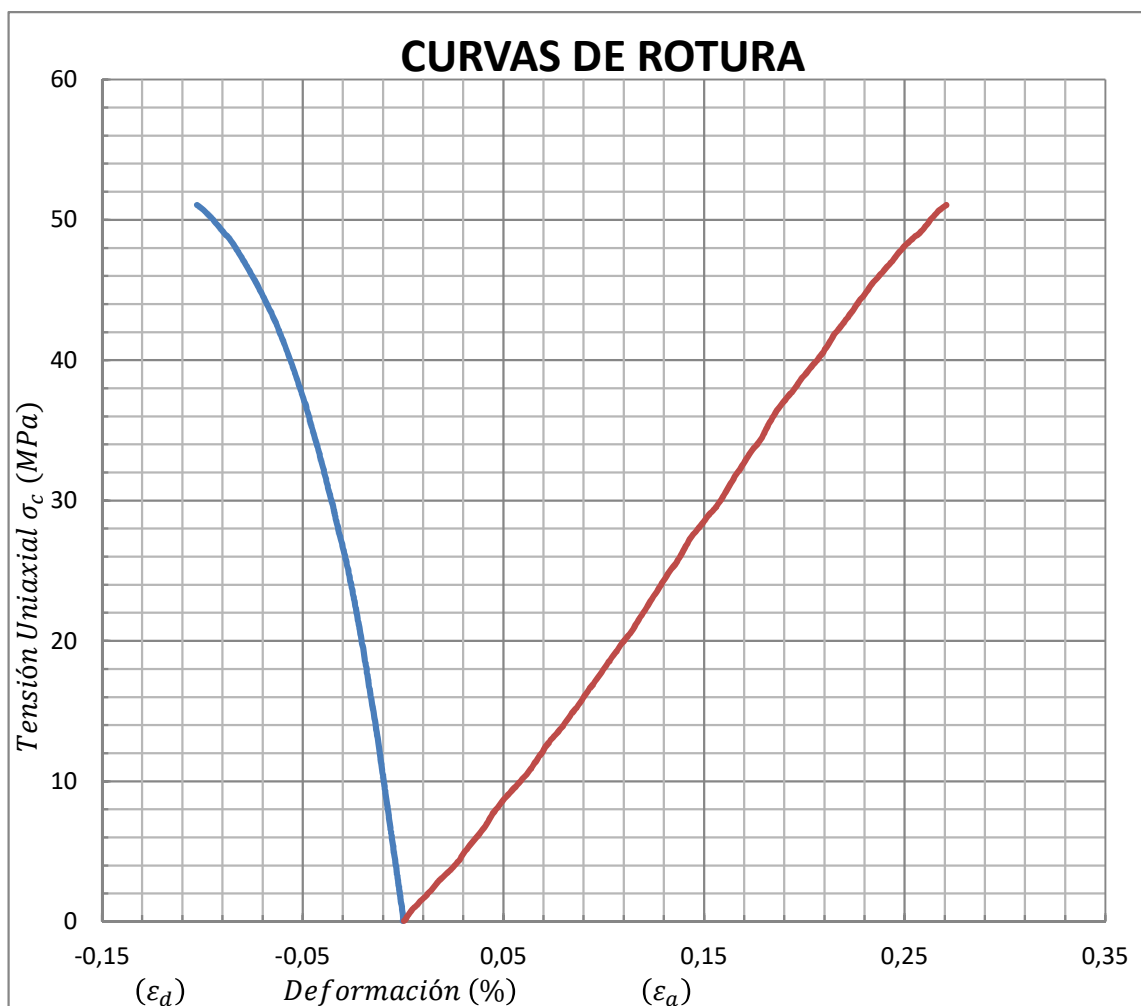
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>51,06</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,50
Coefficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



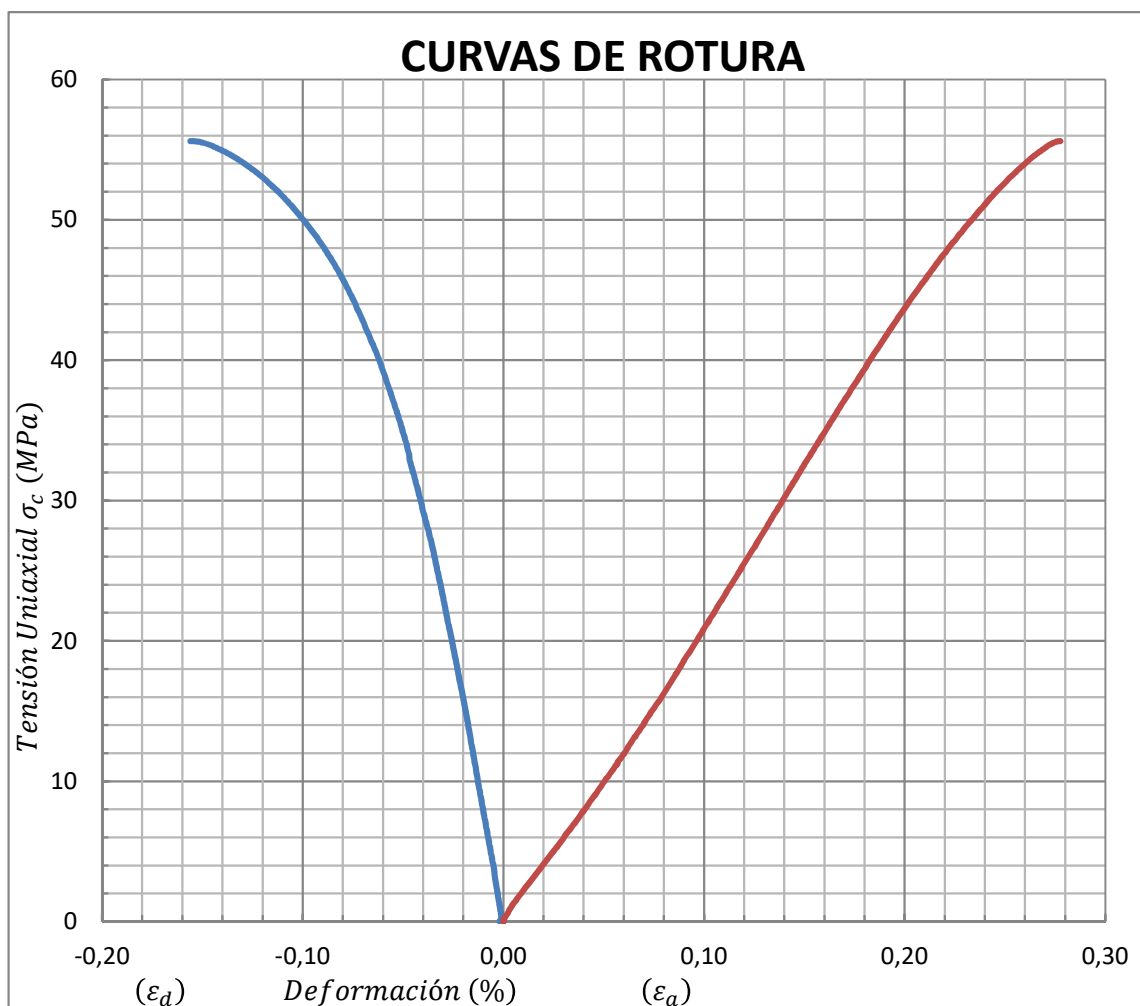
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>55,61</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	22,46
Coefficiente de Poisson	0,34
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



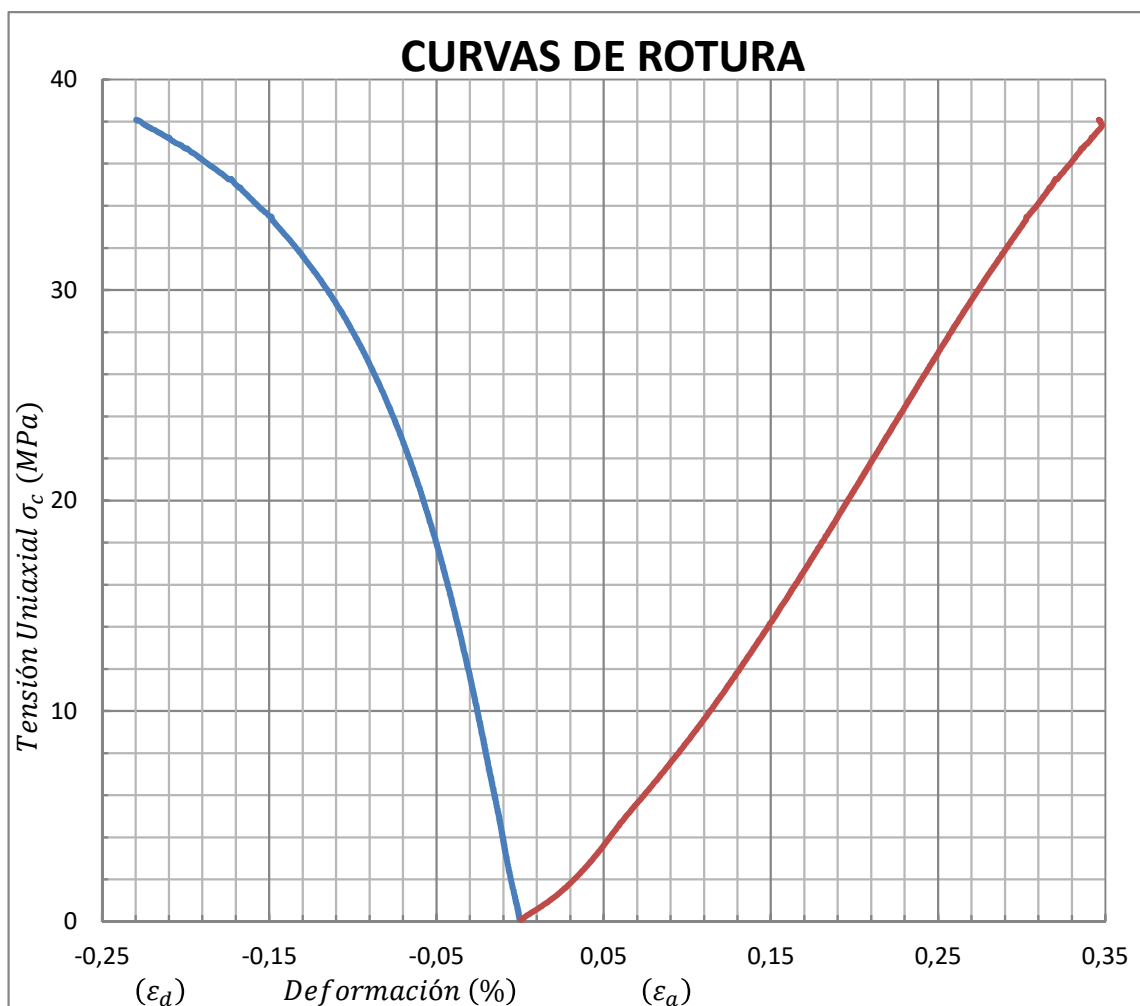
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>38,09</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	12,22
Coeficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



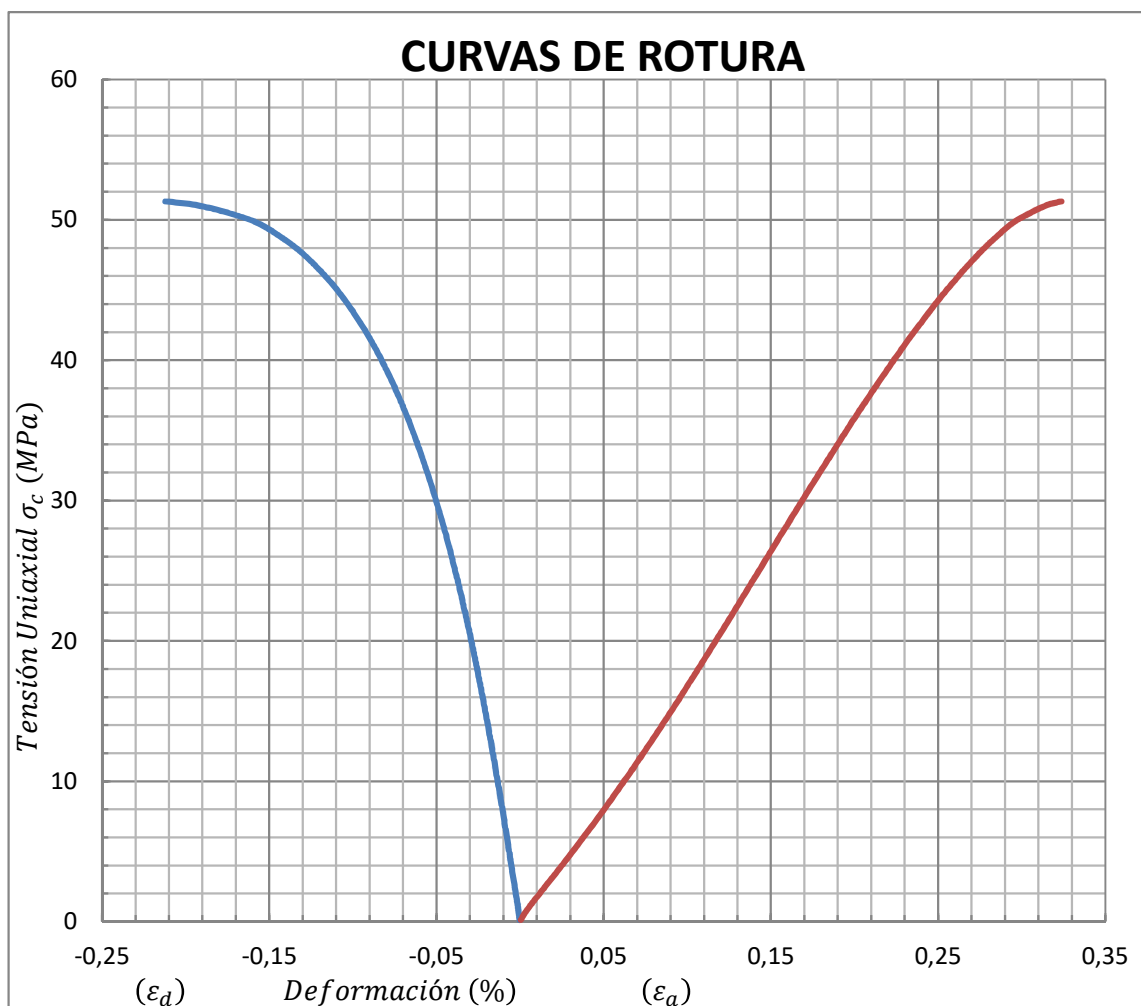
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta7

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>51,31</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	18,16
Coefficiente de Poisson	0,33
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



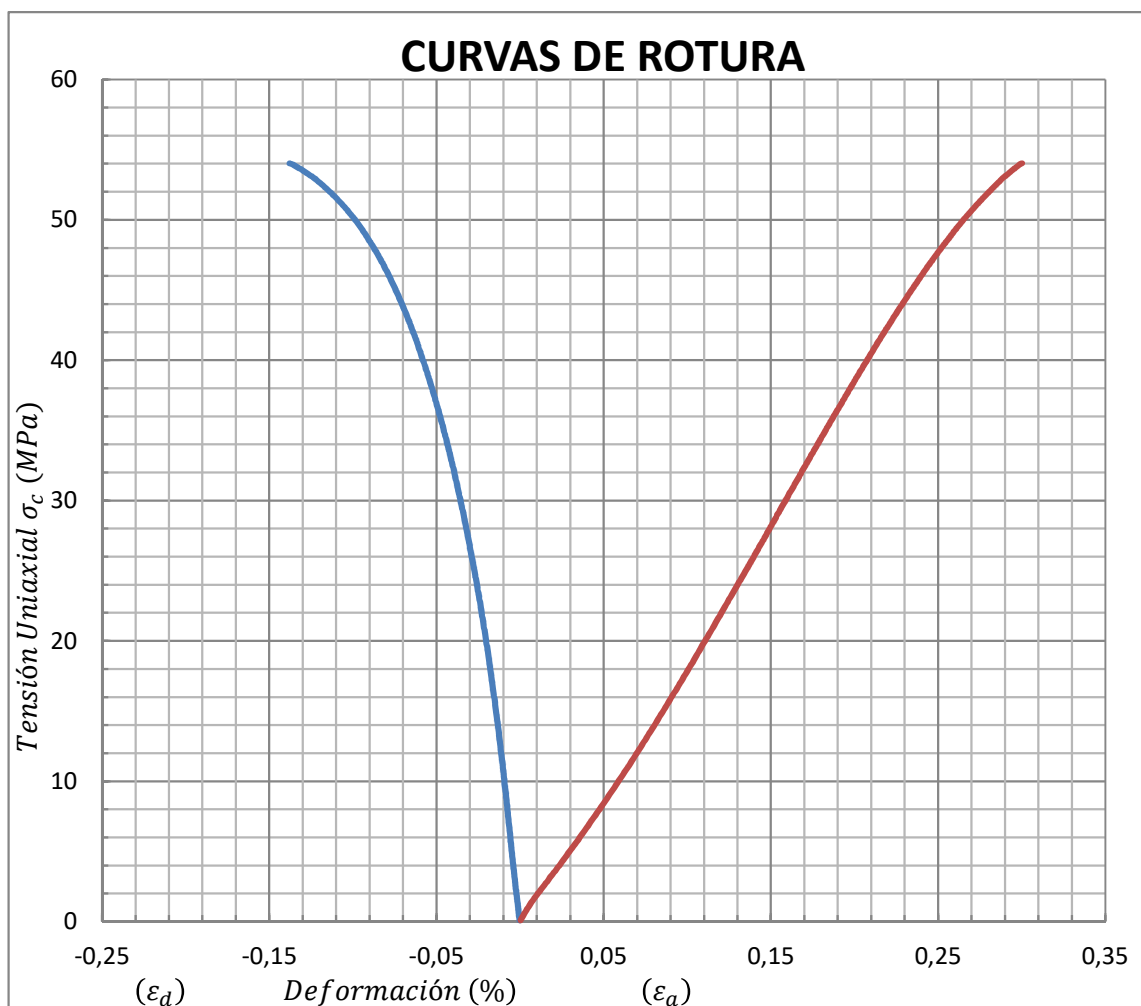
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta8

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>54,02</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,24
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



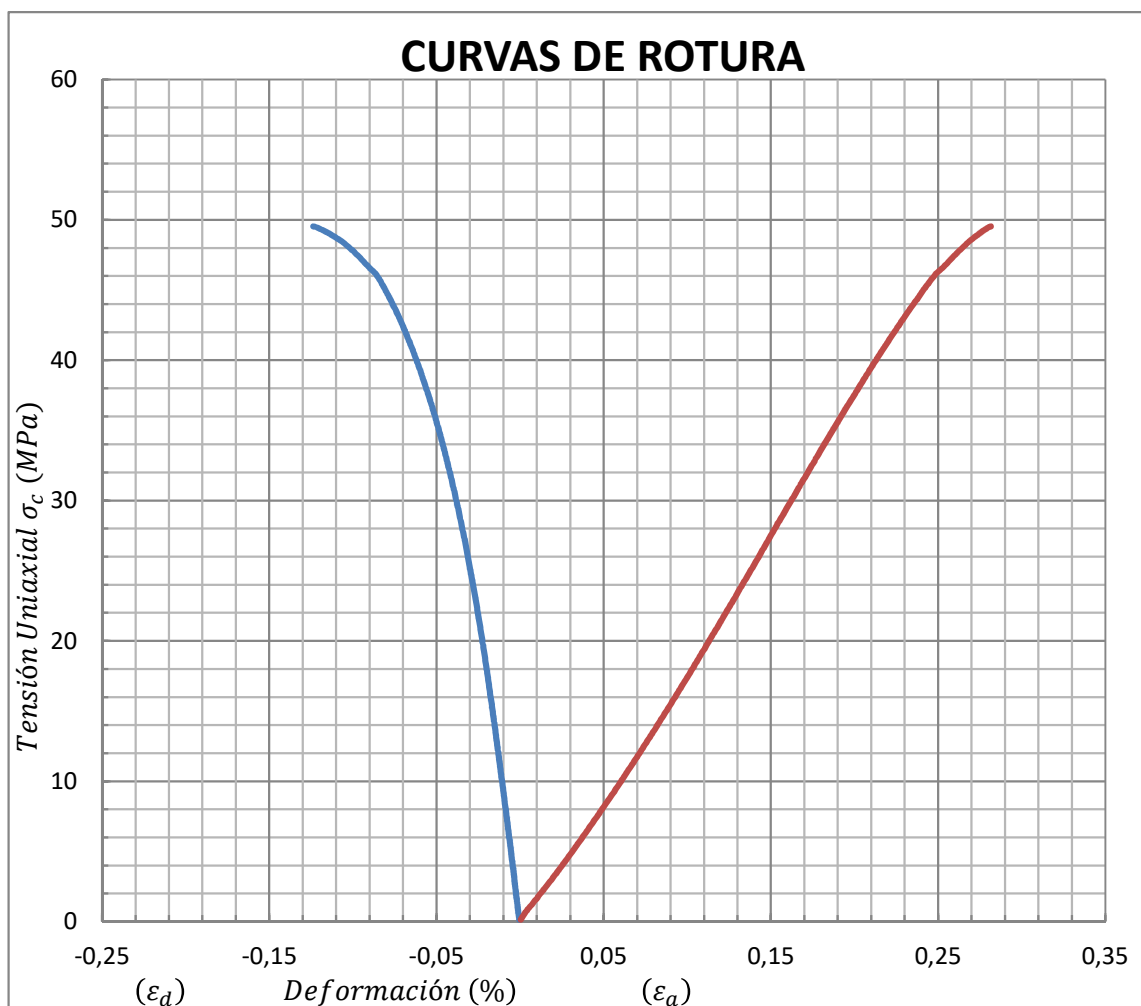
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta9

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>49,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,80
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





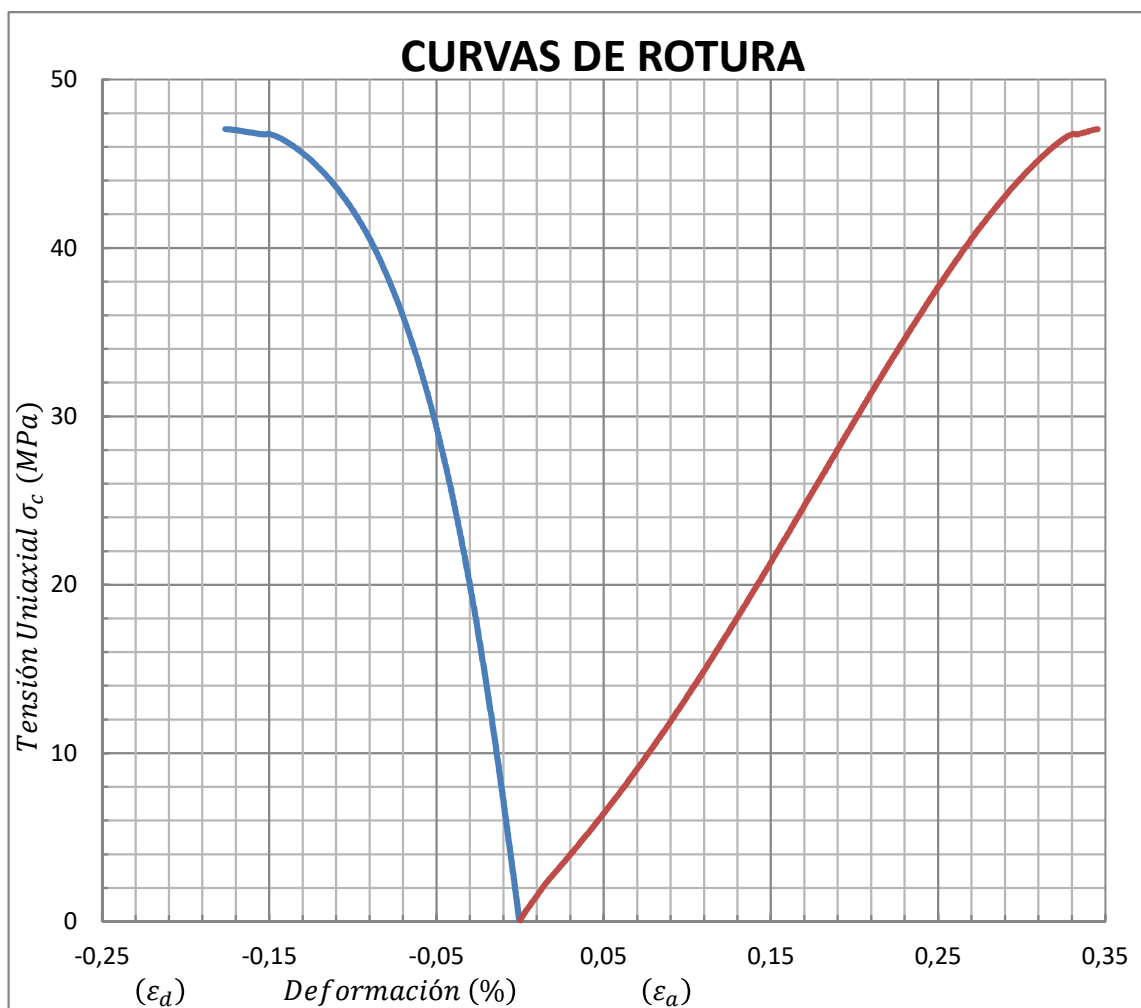
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta10

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>47,05</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,01
Coeficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



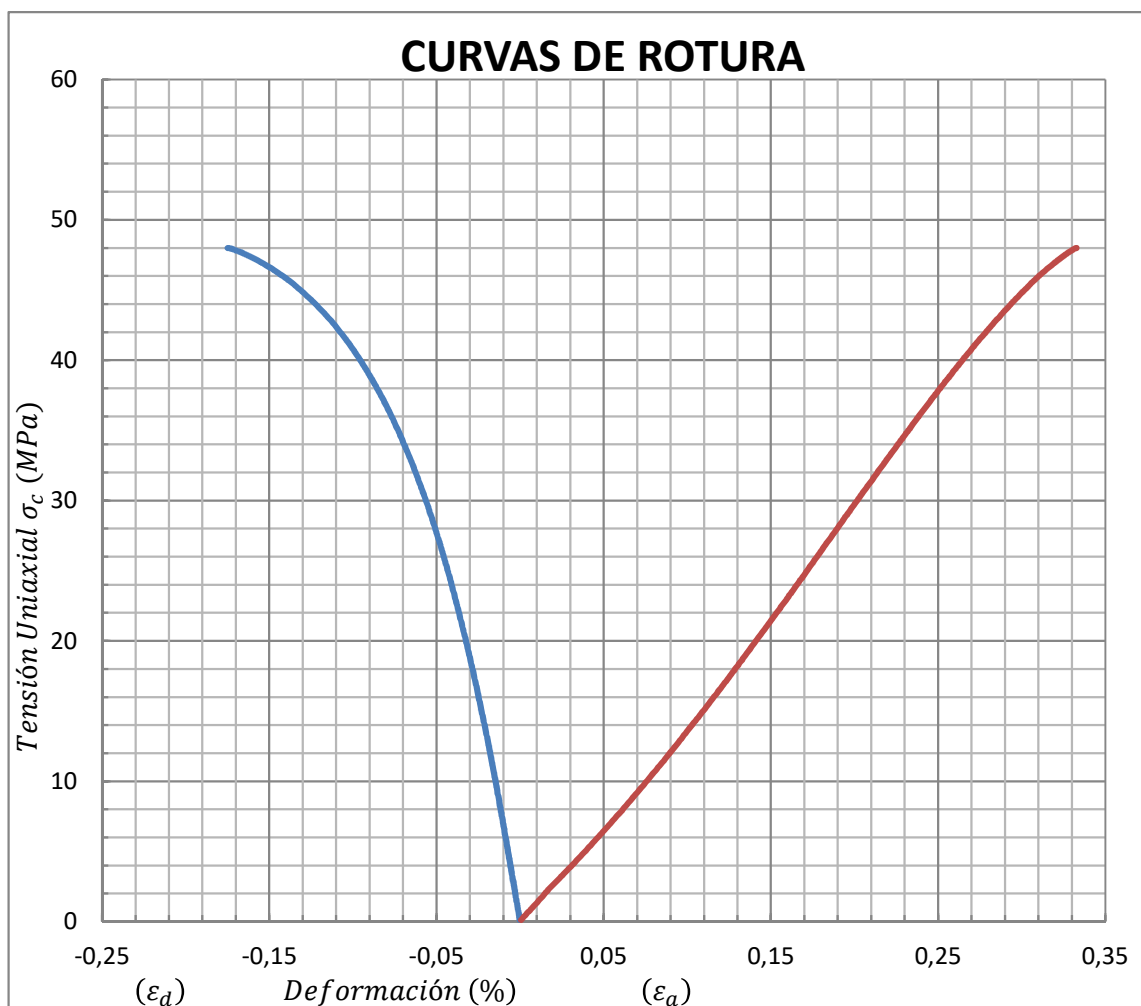
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta11

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>47,99</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,03
Coefficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



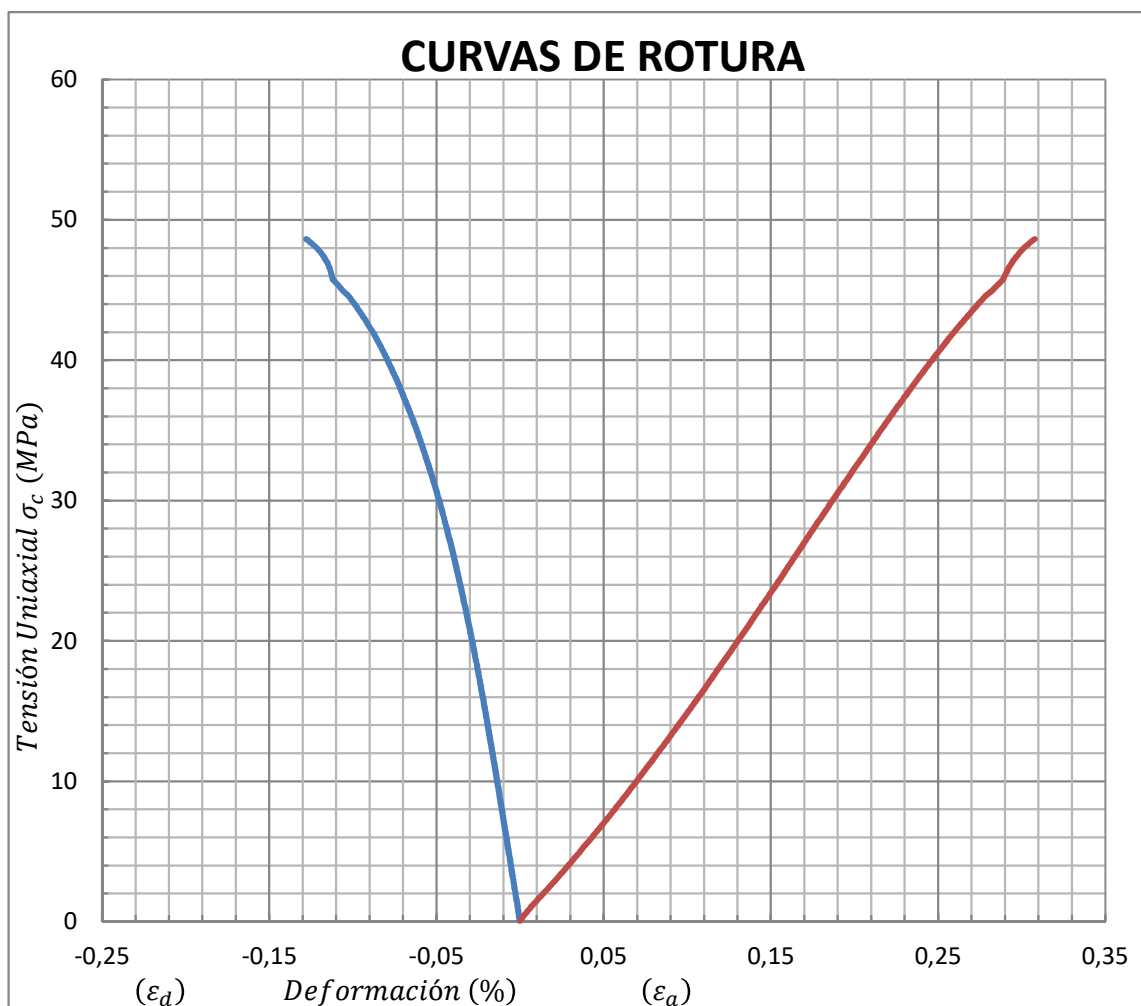
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta12**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>48,63</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,16
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





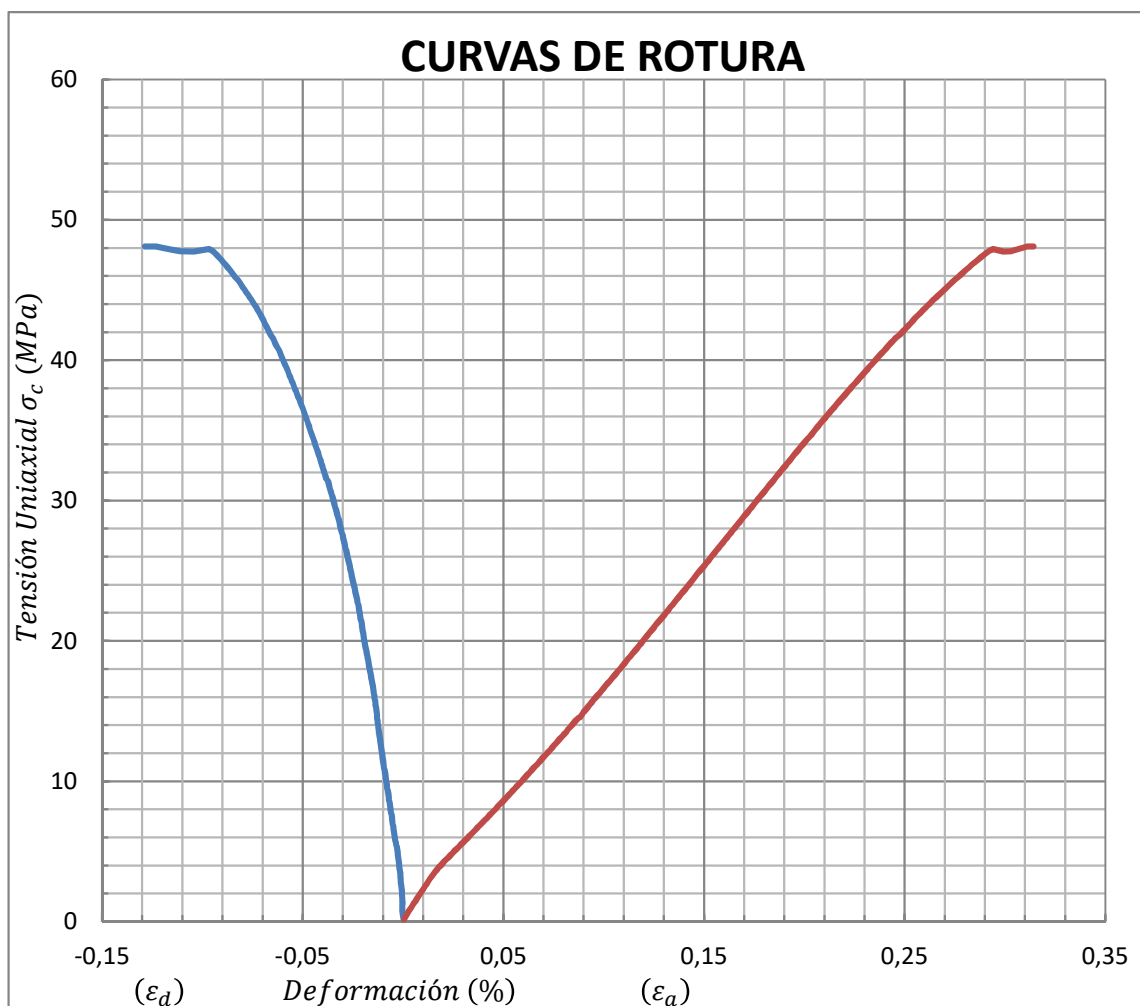
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>48,10</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,16
Coefficiente de Poisson	0,18
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



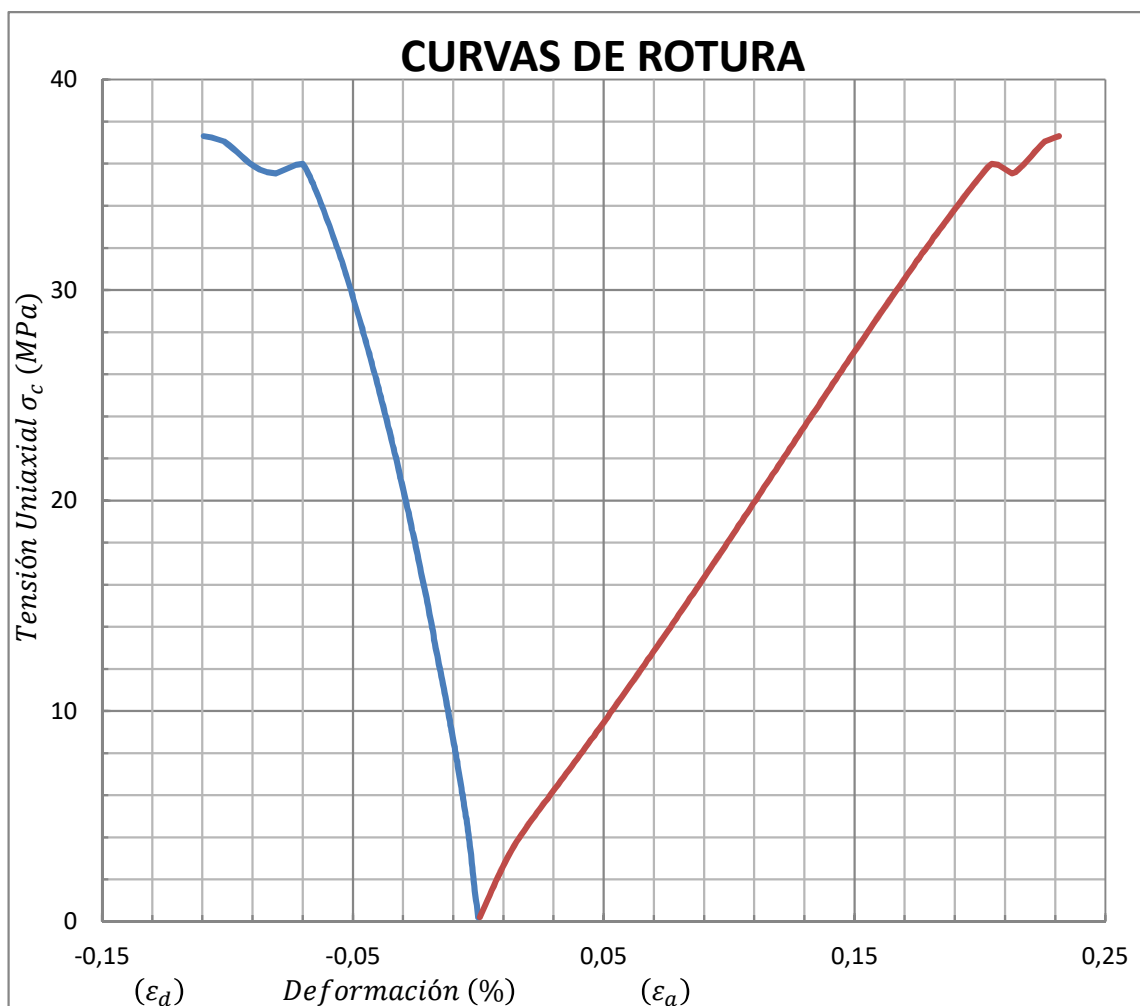
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>37,31</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,60
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



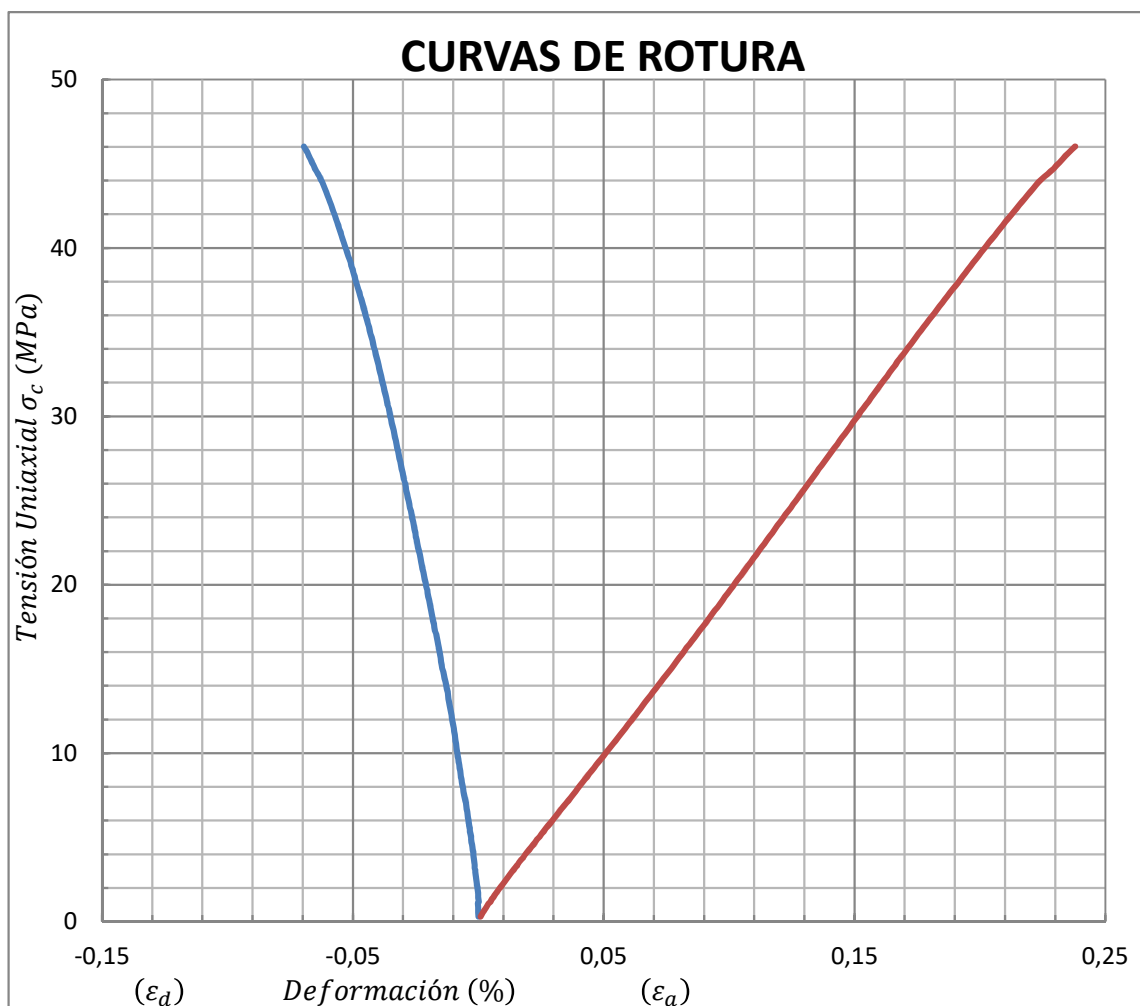
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>46,02</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,94
Coeficiente de Poisson	0,20
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



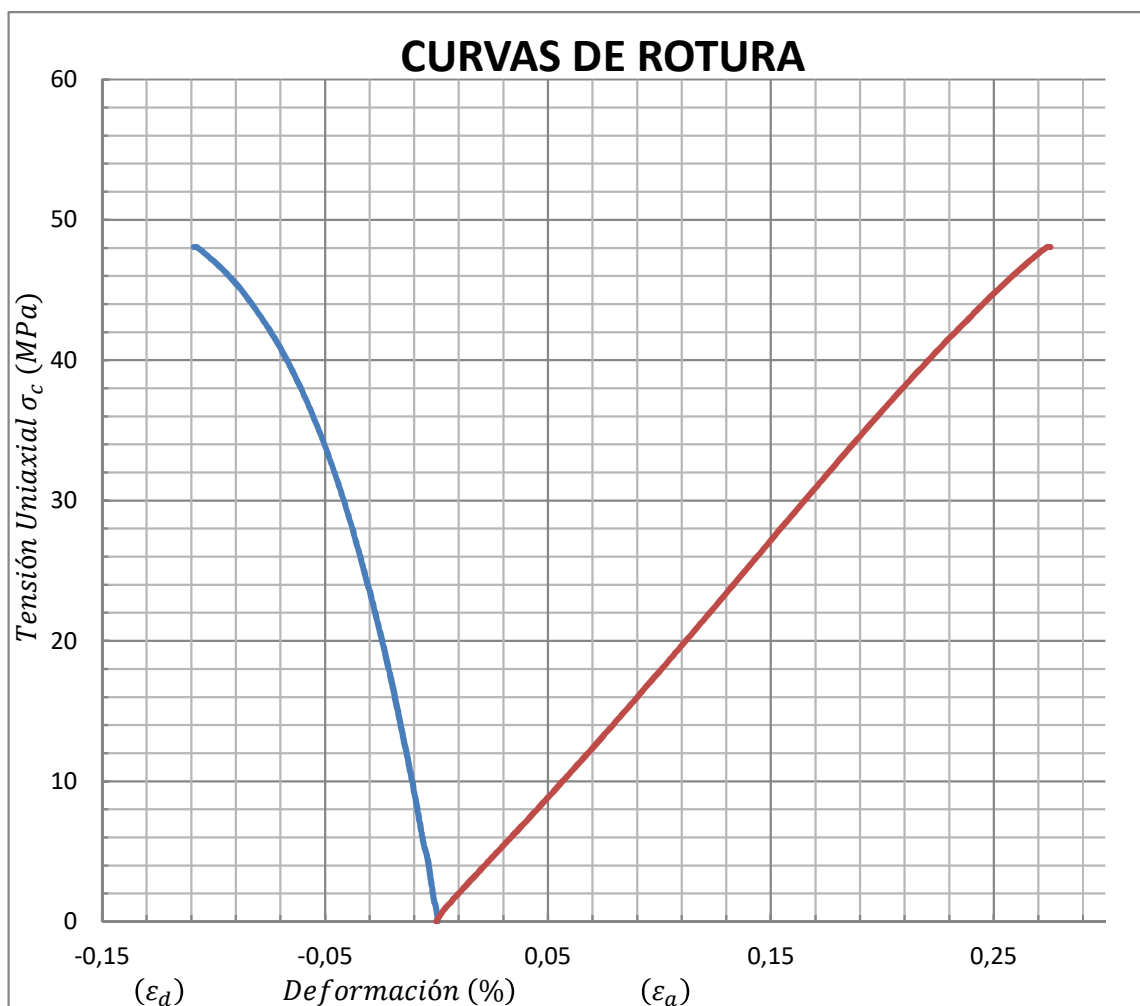
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>48,07</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	18,42
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00





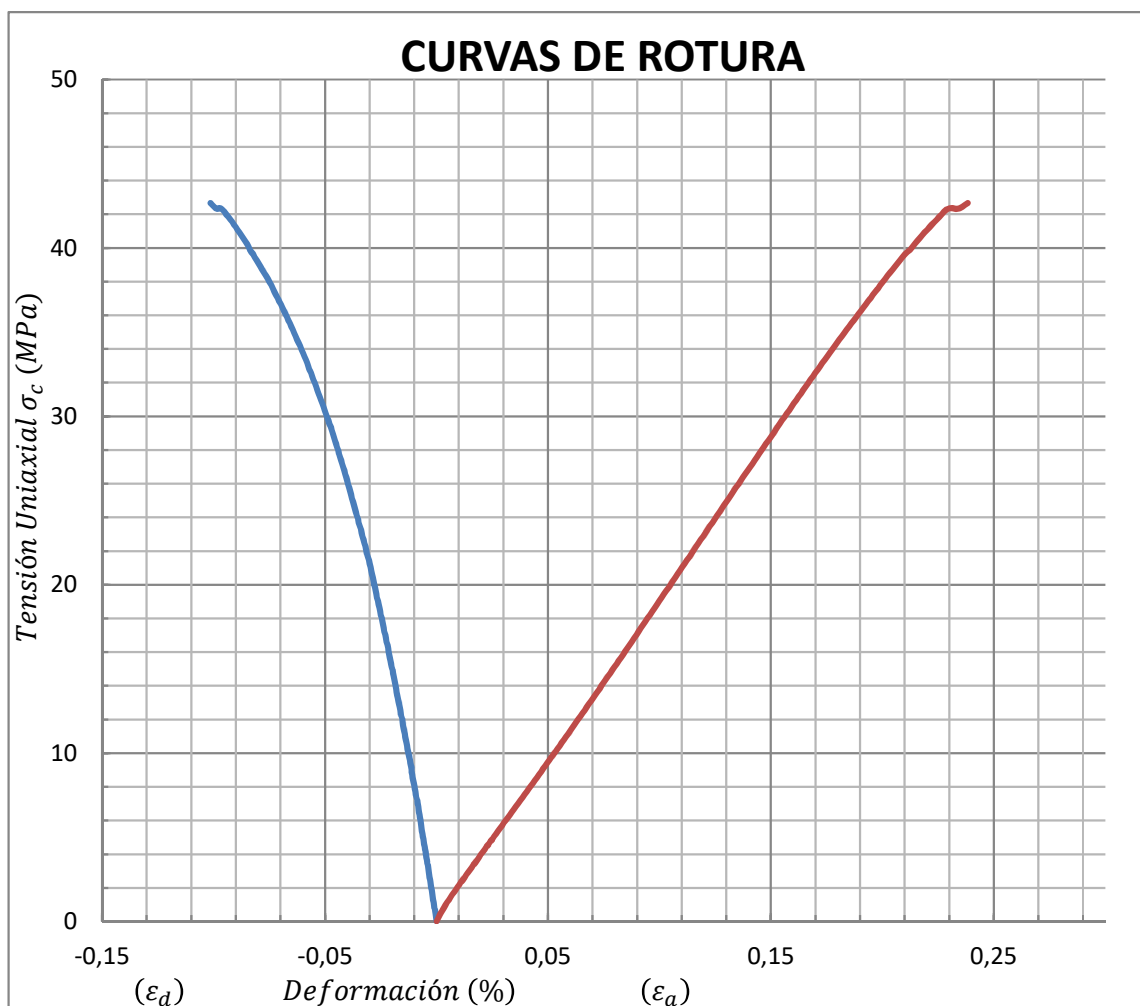
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>42,67</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,24
Coeficiente de Poisson	0,29
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



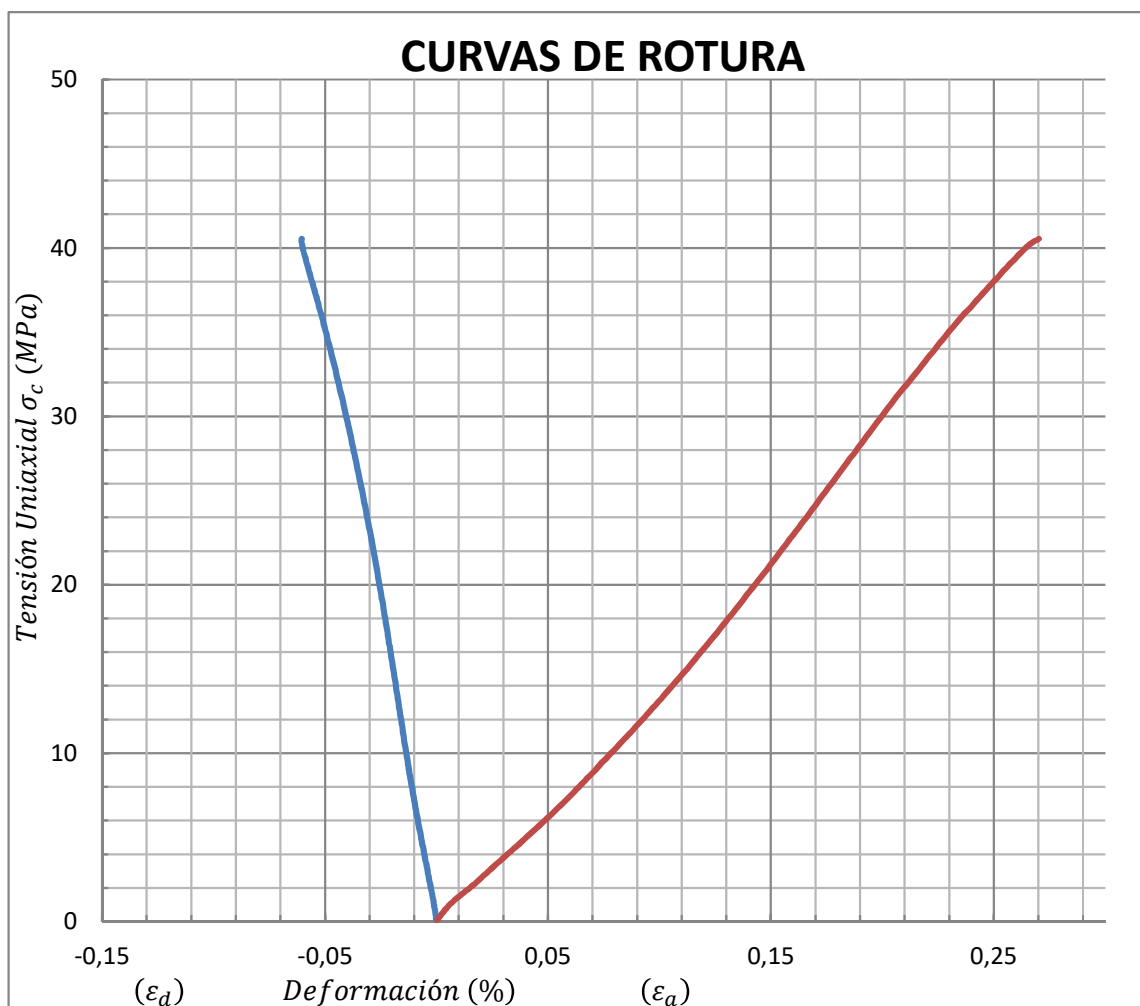
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

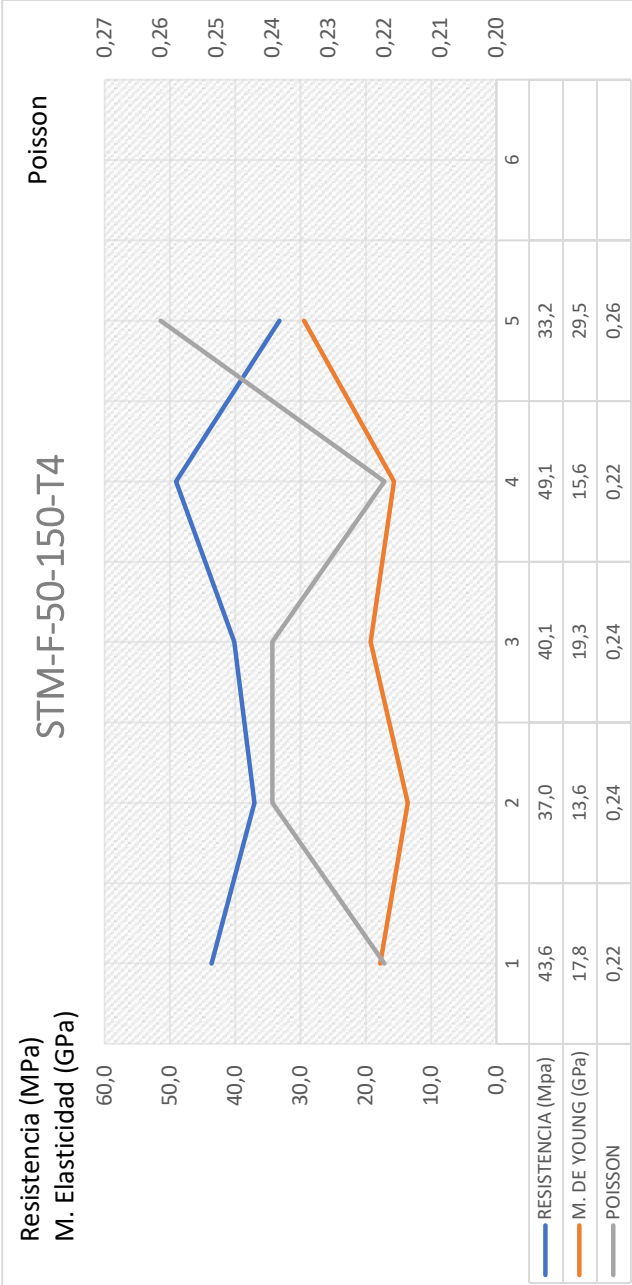
(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>40,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	15,64
Coeficiente de Poisson	0,19
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS				
ARENISCA FLORESTA		T4	150°C	
PROBETA	POISSON	M. DE YOUNG (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	M. YOUNG/RESITENCIA
19	0,22	17,8	43,6	0,4
20	0,24	13,6	37,0	0,4
21	0,24	19,3	40,1	0,5
22	0,22	15,6	49,1	0,3
23	0,26	29,5	33,2	0,9
24				
Promedio	0,24	19,2	40,6	0,5



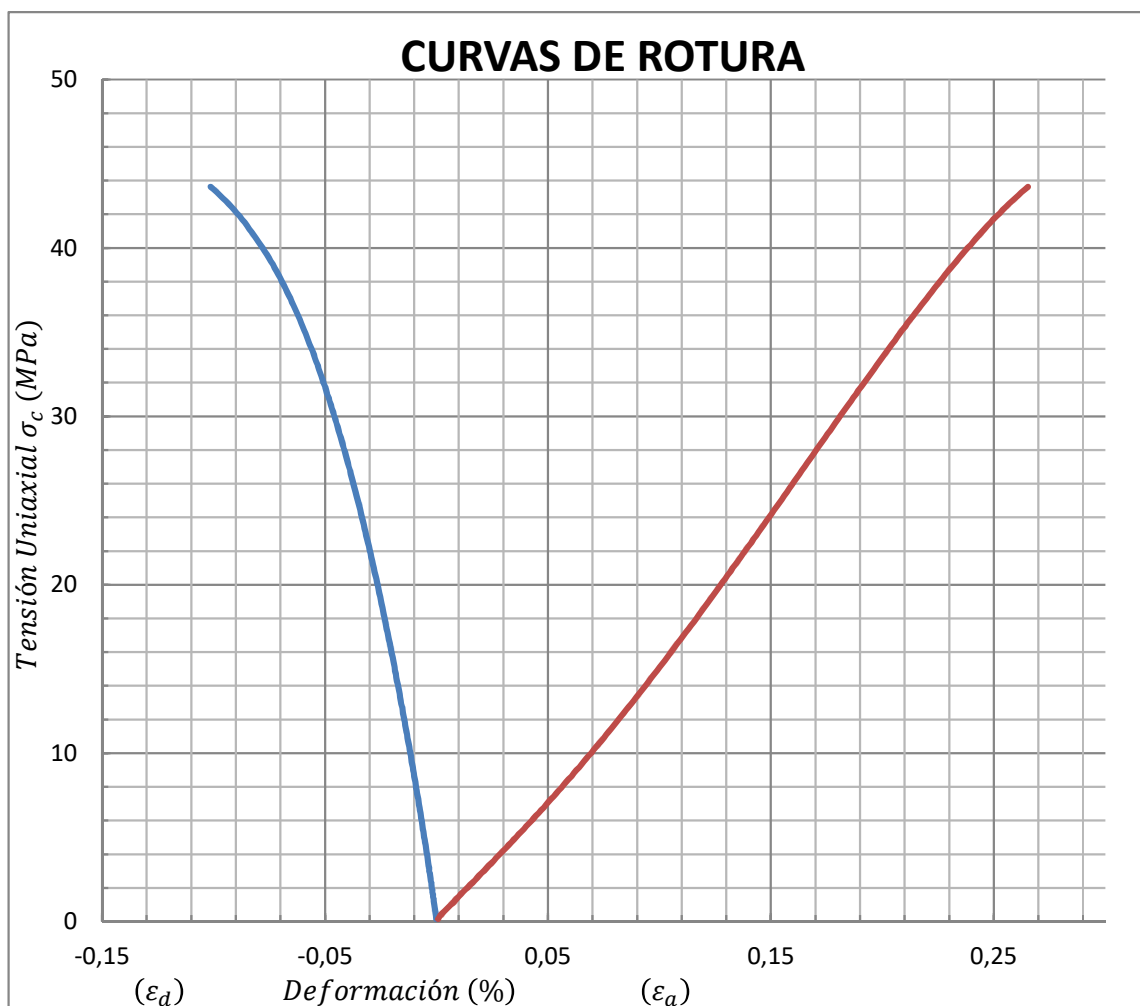
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta1**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>43,62</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,81
Coeficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



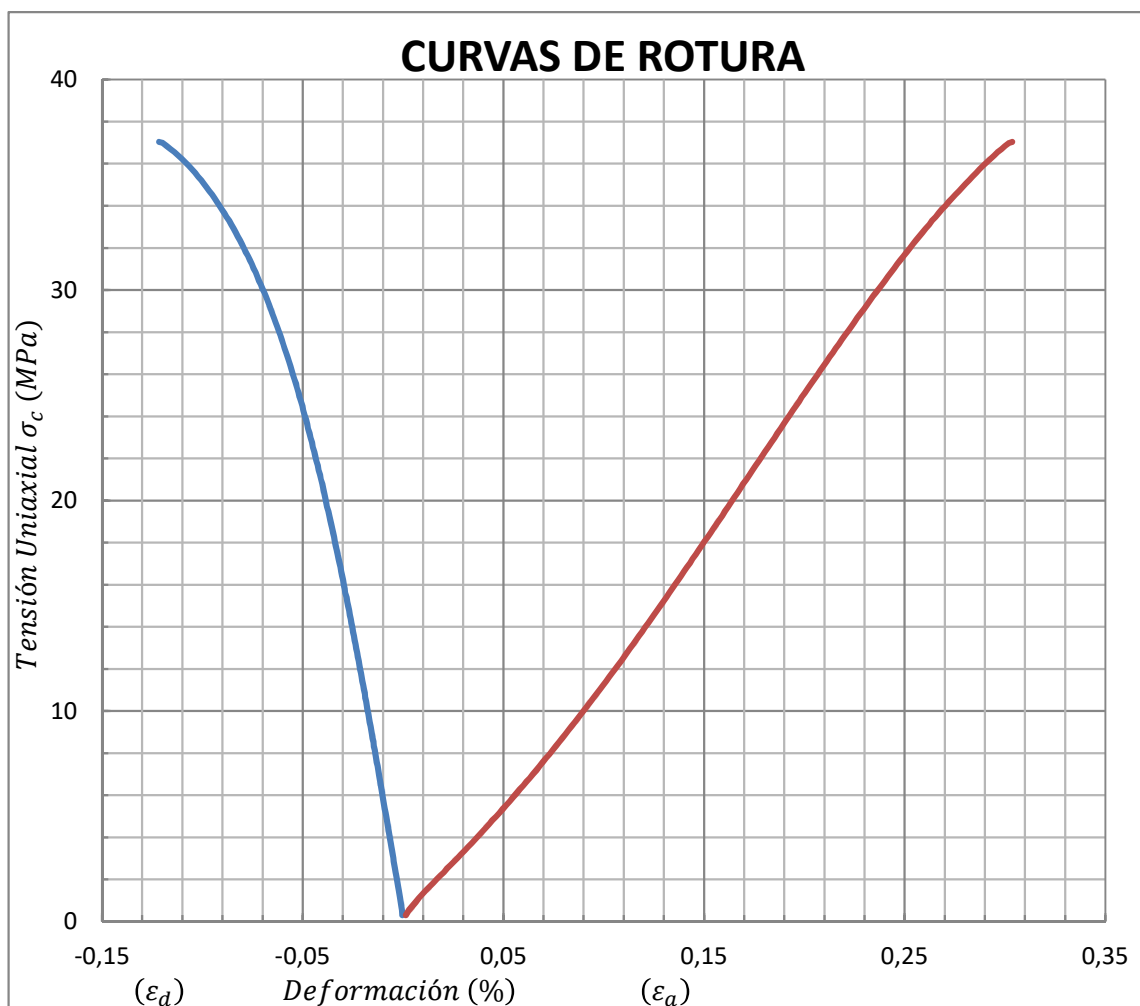
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>37,04</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	13,58
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



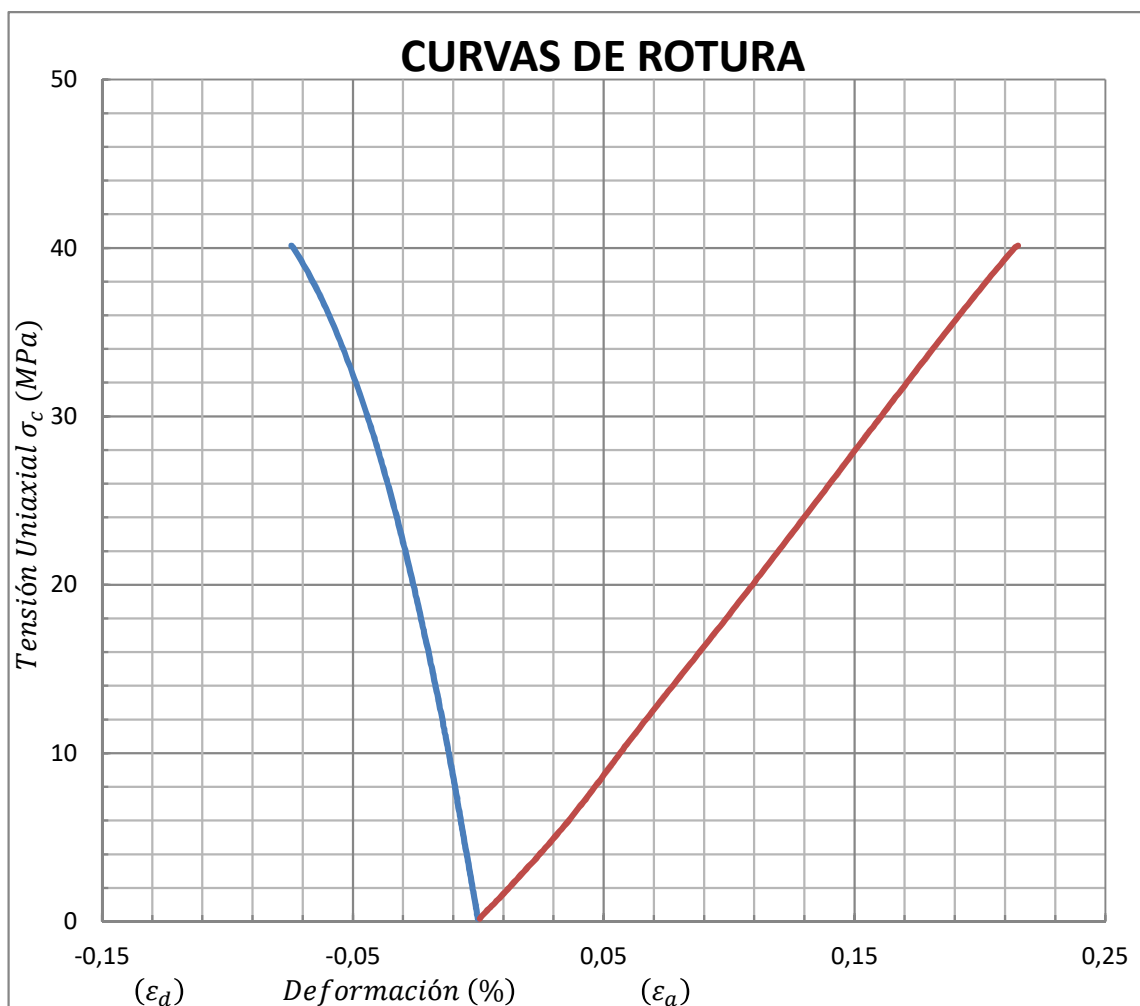
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>40,13</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,28
Coeficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



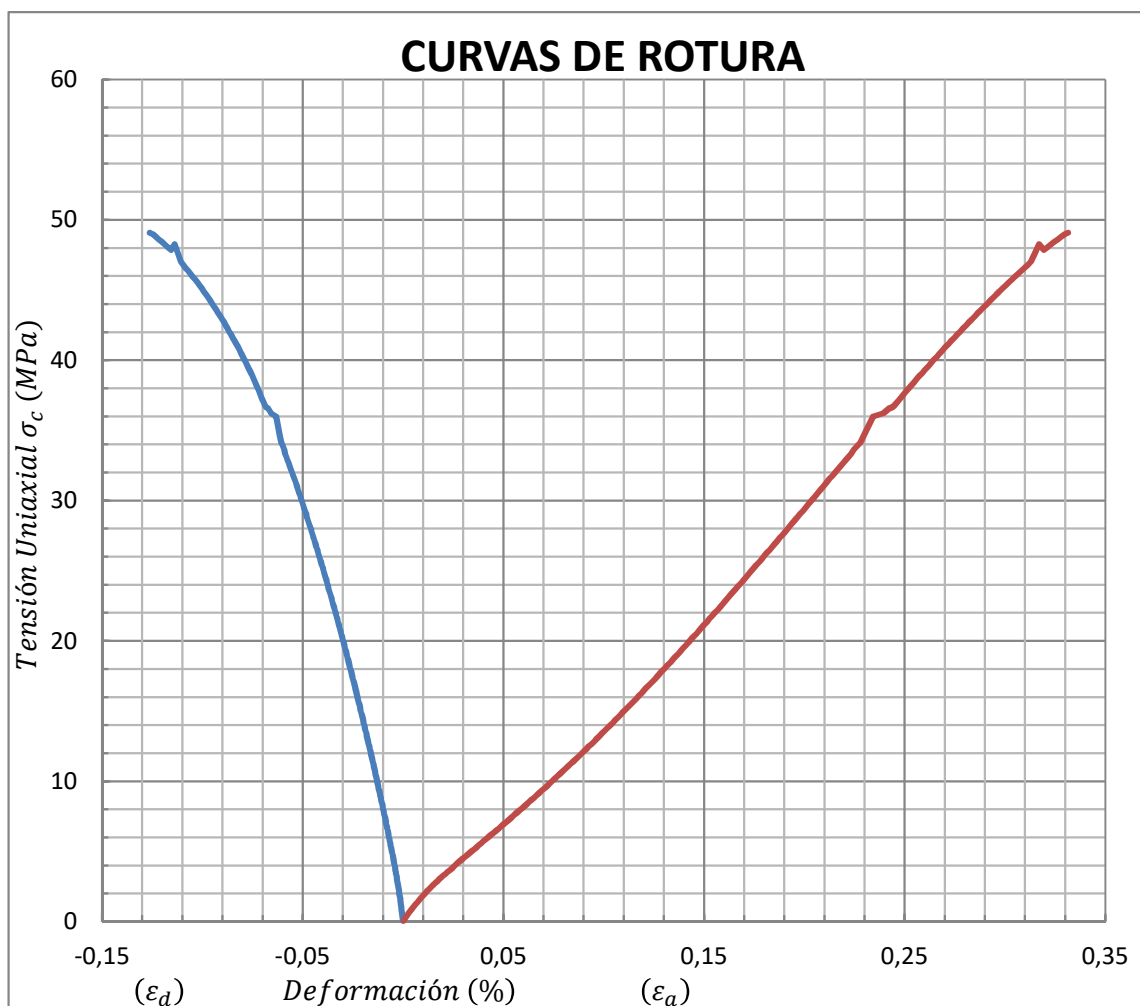
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>49,08</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	15,64
Coefficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



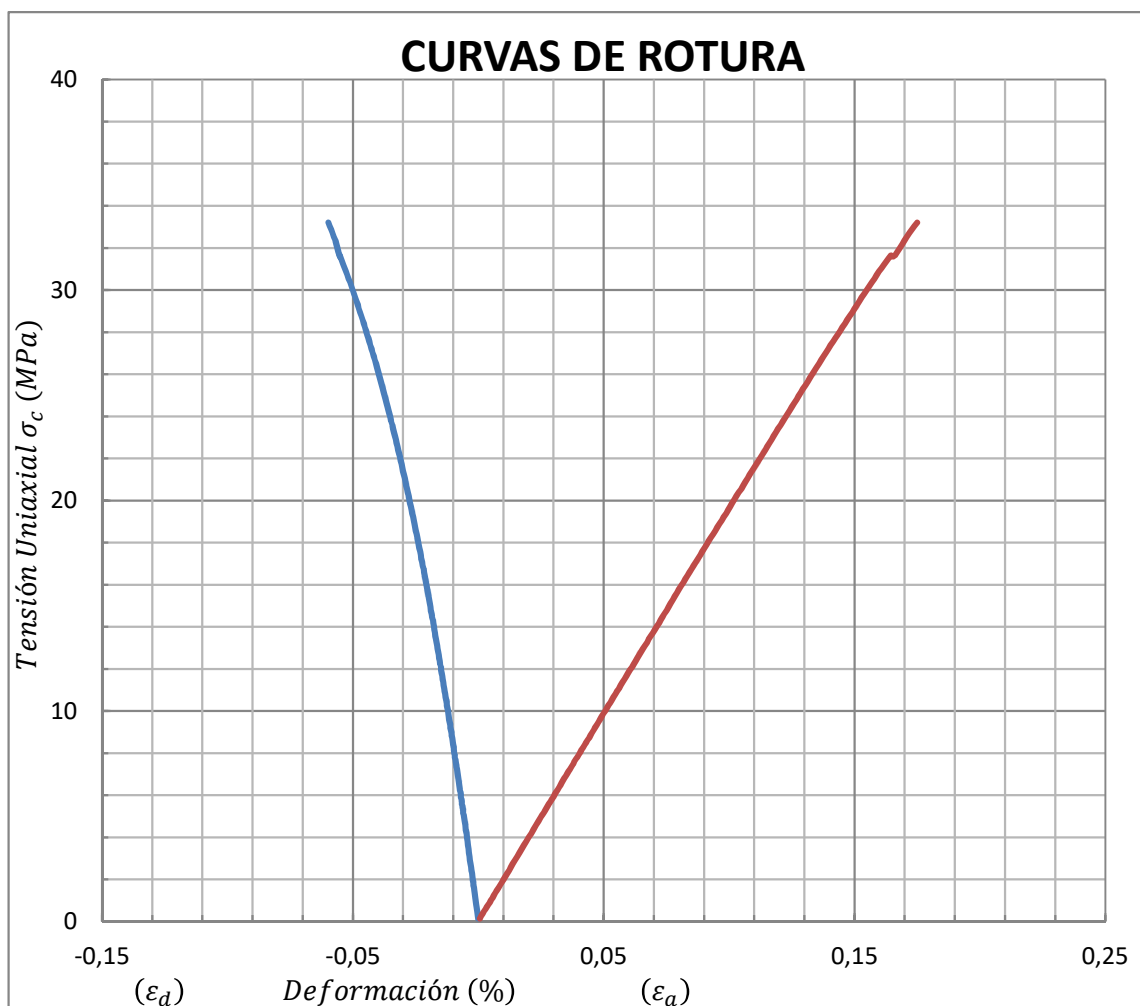
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

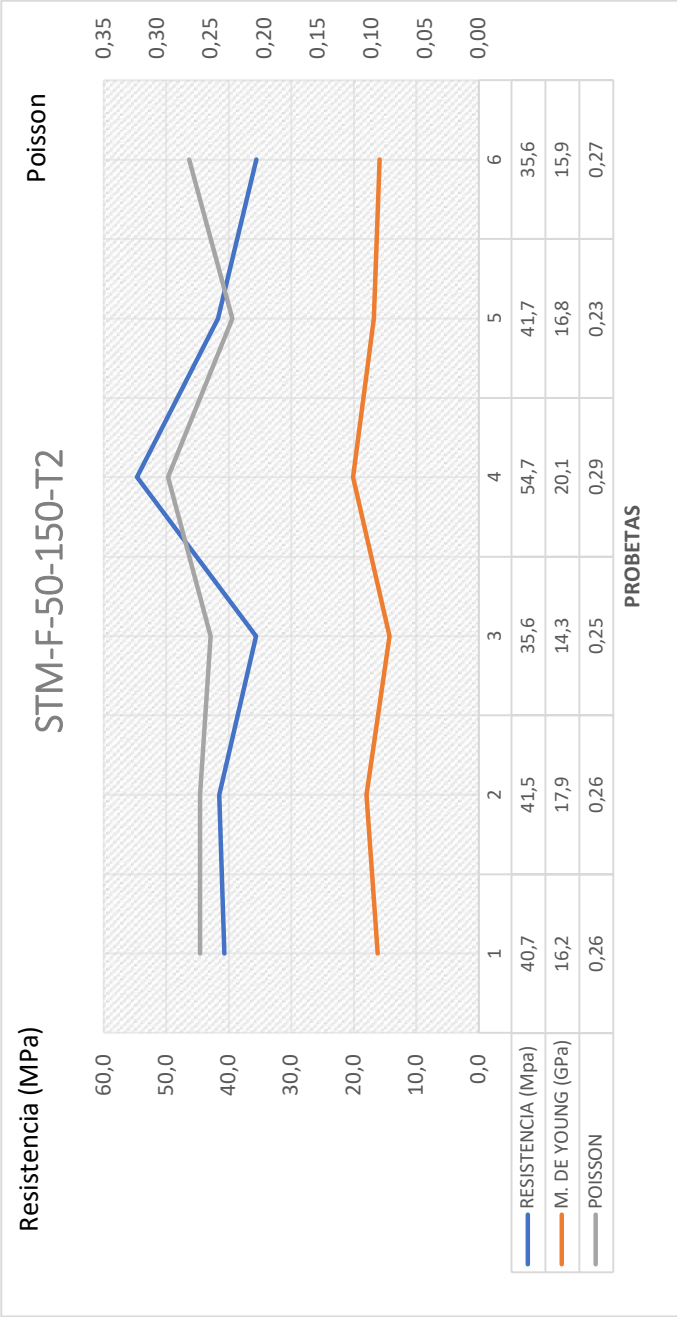
**Muestra N°: Arenisca-Floresta5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>33,20</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,47
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00





ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
ARENISCA FLORESTA		T2		250°C	
PROBETA	POISSON	M. DE YOUNG (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. YOUNG/RESISTENCIA
25	0,26	16,2	40,7	40,7	0,4
26	0,26	17,9	41,5	41,5	0,4
27	0,25	14,3	35,6	35,6	0,4
28	0,29	20,1	54,7	54,7	0,4
29	0,23	16,8	41,7	41,7	0,4
30	0,27	15,9	35,6	35,6	0,4
Promedio	0,26	16,9	41,6	41,6	0,4



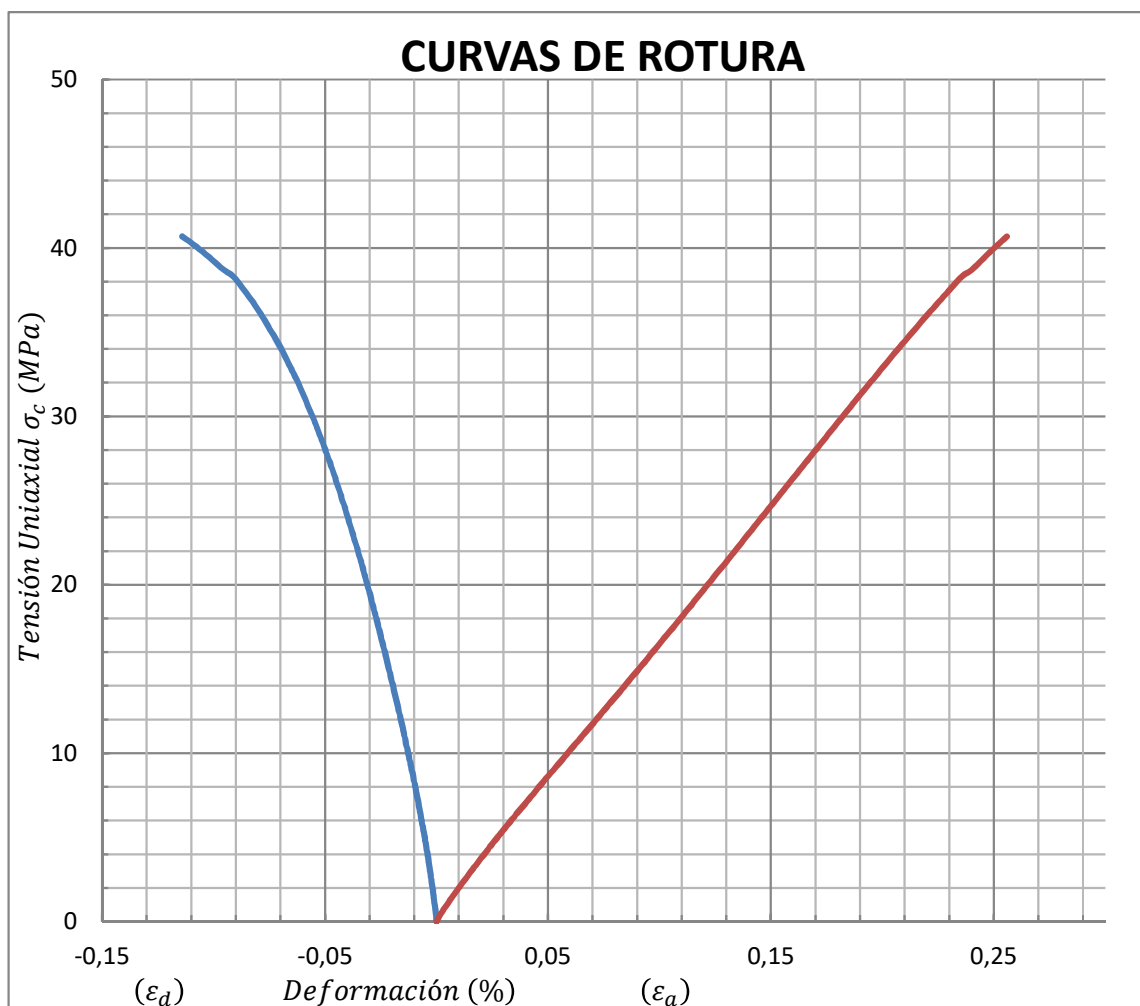
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta1**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>40,68</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,16
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



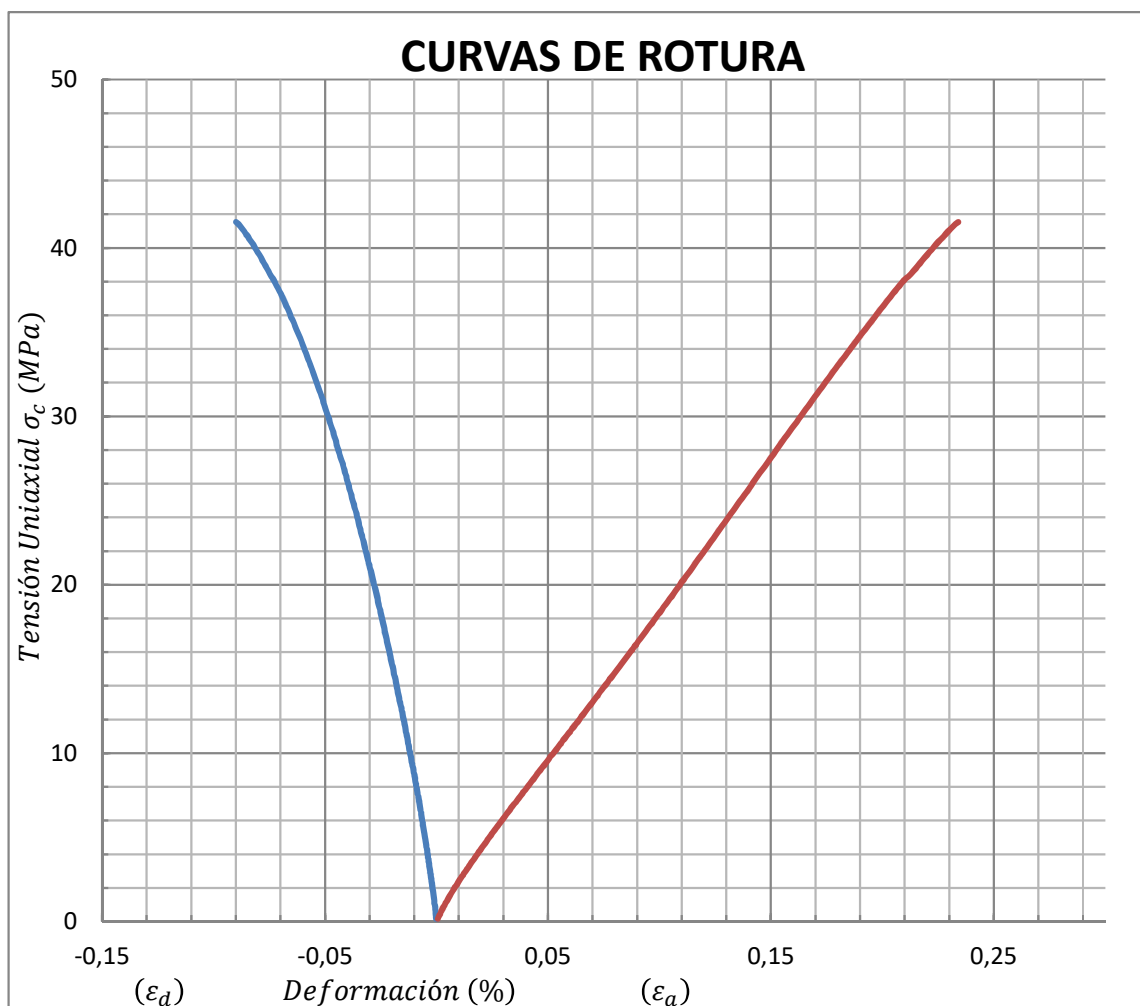
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>41,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,94
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



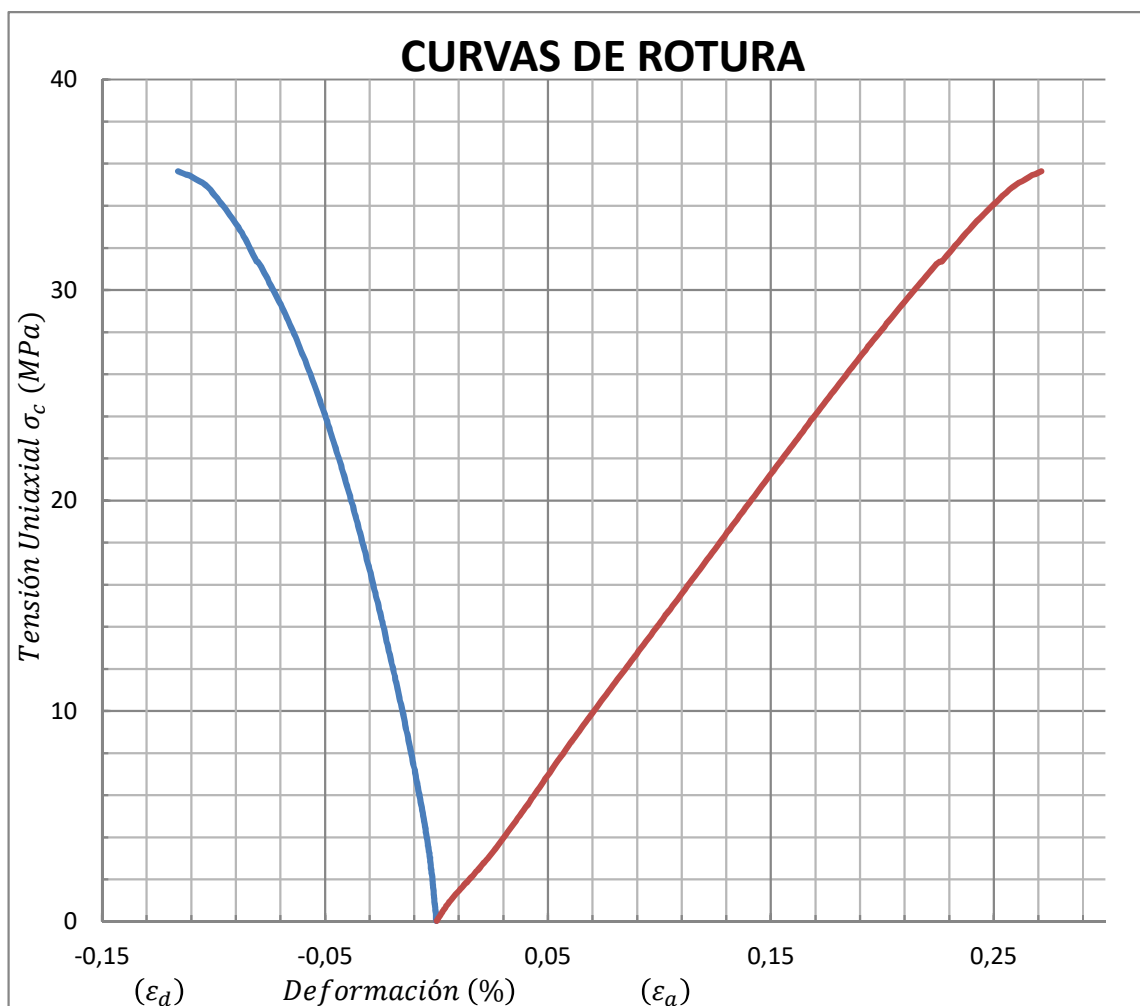
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Arenisca-Floresta3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>35,64</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	14,25
Coefficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



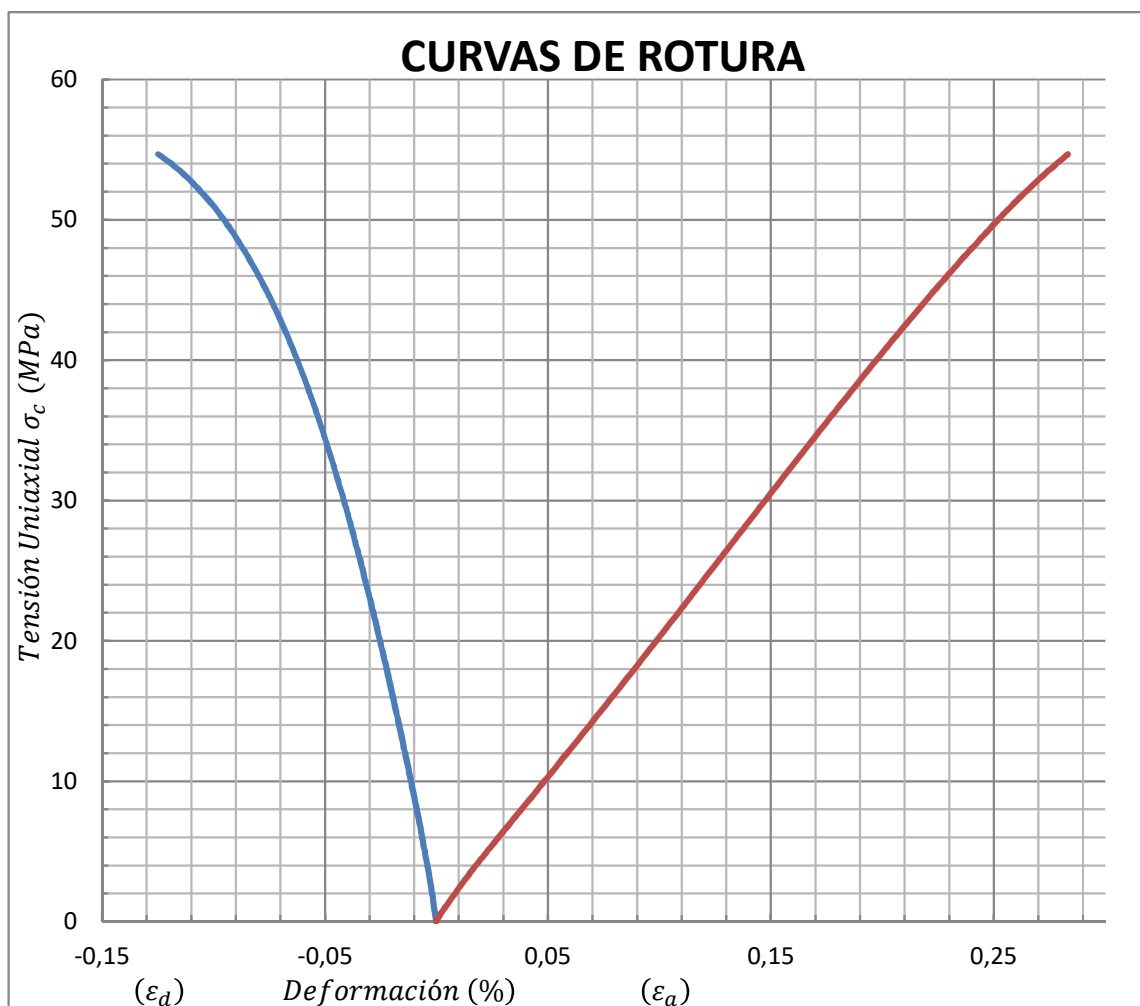
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>54,67</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,13
Coefficiente de Poisson	0,29
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



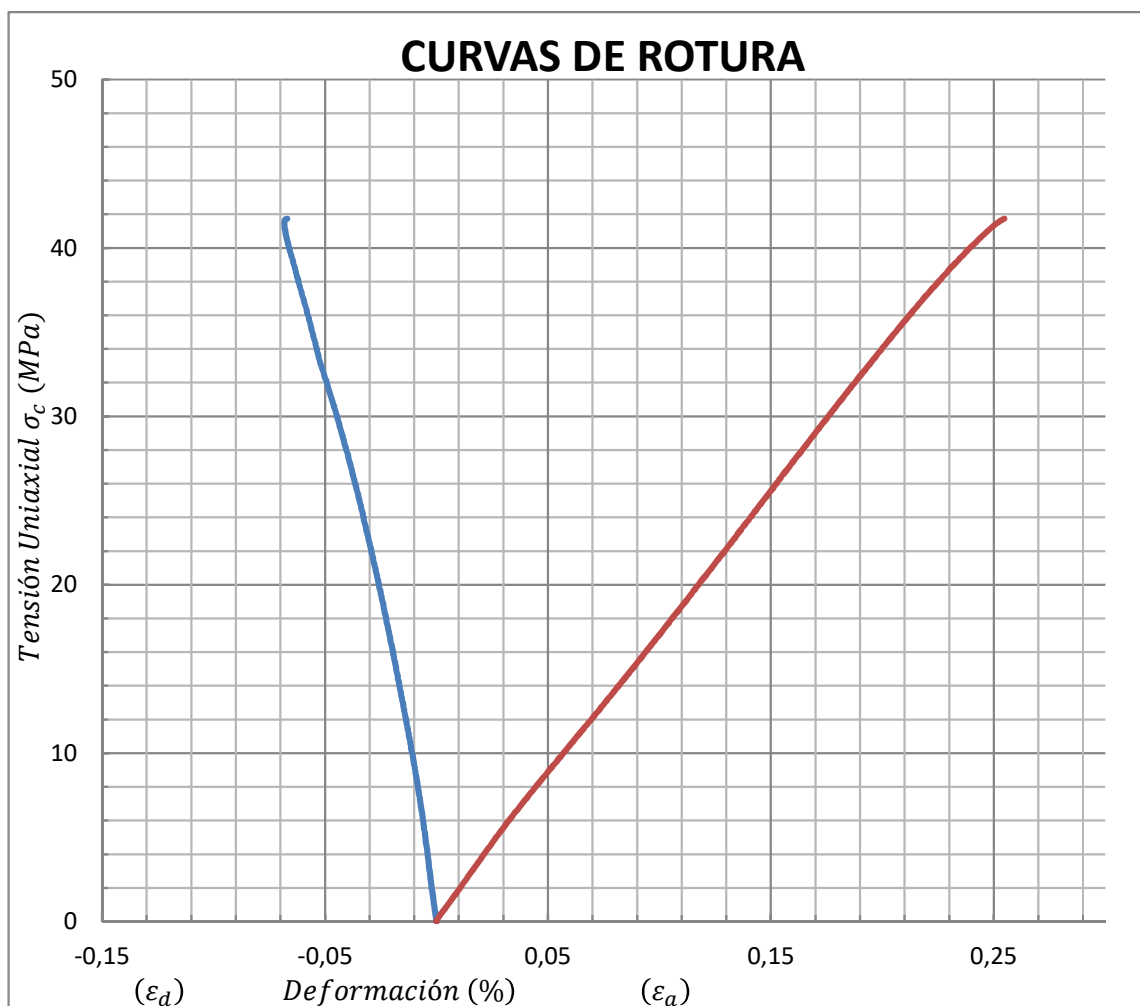
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>41,73</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,79
Coeficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



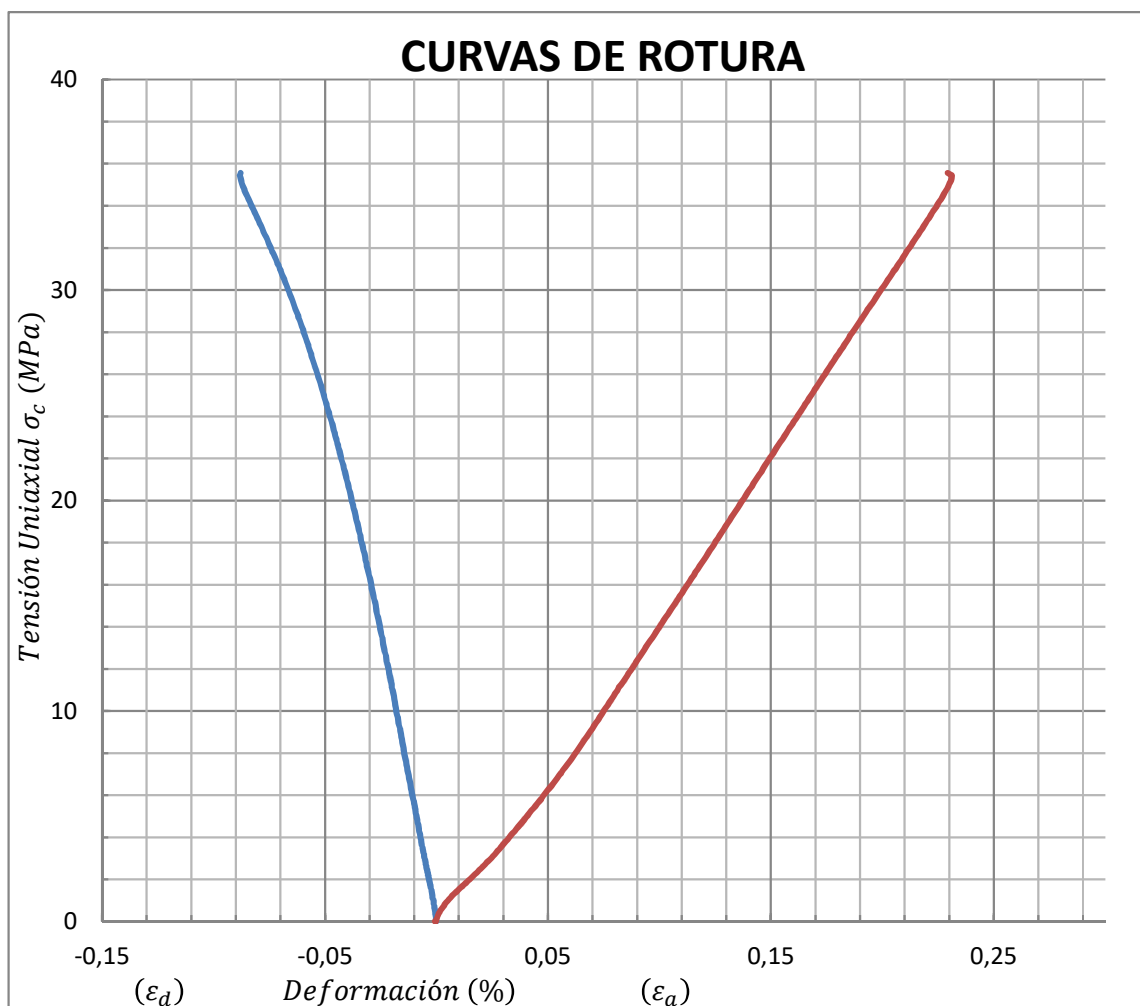
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

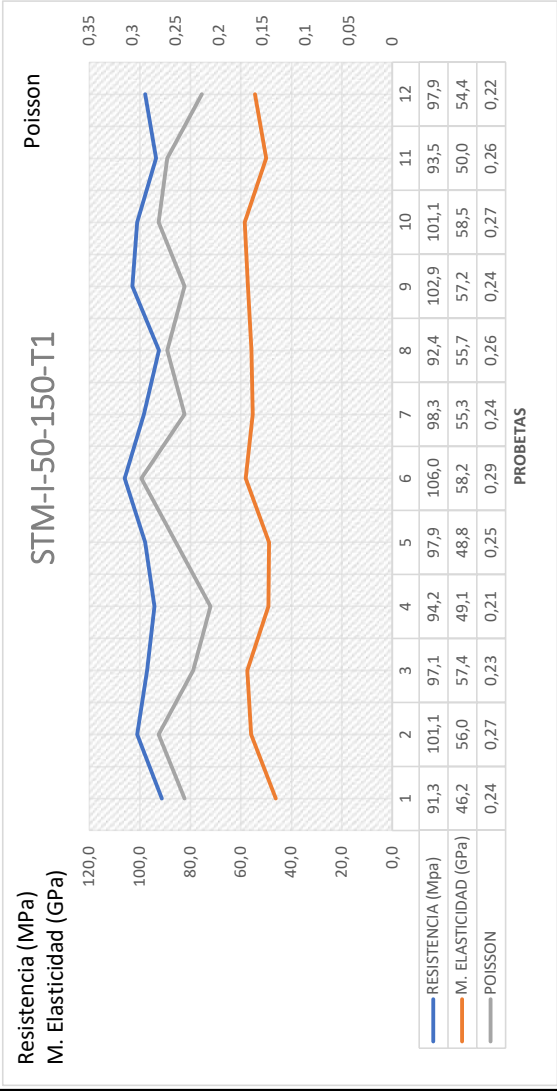
(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Arenisca-Floresta6**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>35,56</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	15,85
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS						
MARMOL CARRARA		T1		23°C		
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)	M. YOUNG/RESISTENCIA
1	0,24	46,2	91,3	91,3	46,2	0,5
2	0,27	56,0	101,1	101,1	56,0	0,6
3	0,23	57,4	97,1	97,1	57,4	0,6
4	0,21	49,1	94,2	94,2	49,1	0,5
5	0,25	48,8	97,9	97,9	48,8	0,5
6	0,29	58,2	106,0	106,0	58,2	0,5
7	0,24	55,3	98,3	98,3	55,3	0,6
8	0,26	55,7	92,4	92,4	55,7	0,6
9	0,24	57,2	102,9	102,9	57,2	0,6
10	0,27	58,5	101,1	101,1	58,5	0,6
11	0,26	50,0	93,5	93,5	50,0	0,5
12	0,22	54,4	97,9	97,9	54,4	0,6
	<b>0,25</b>	<b>53,9</b>	<b>97,8</b>	<b>97,8</b>	<b>53,9</b>	<b>0,6</b>





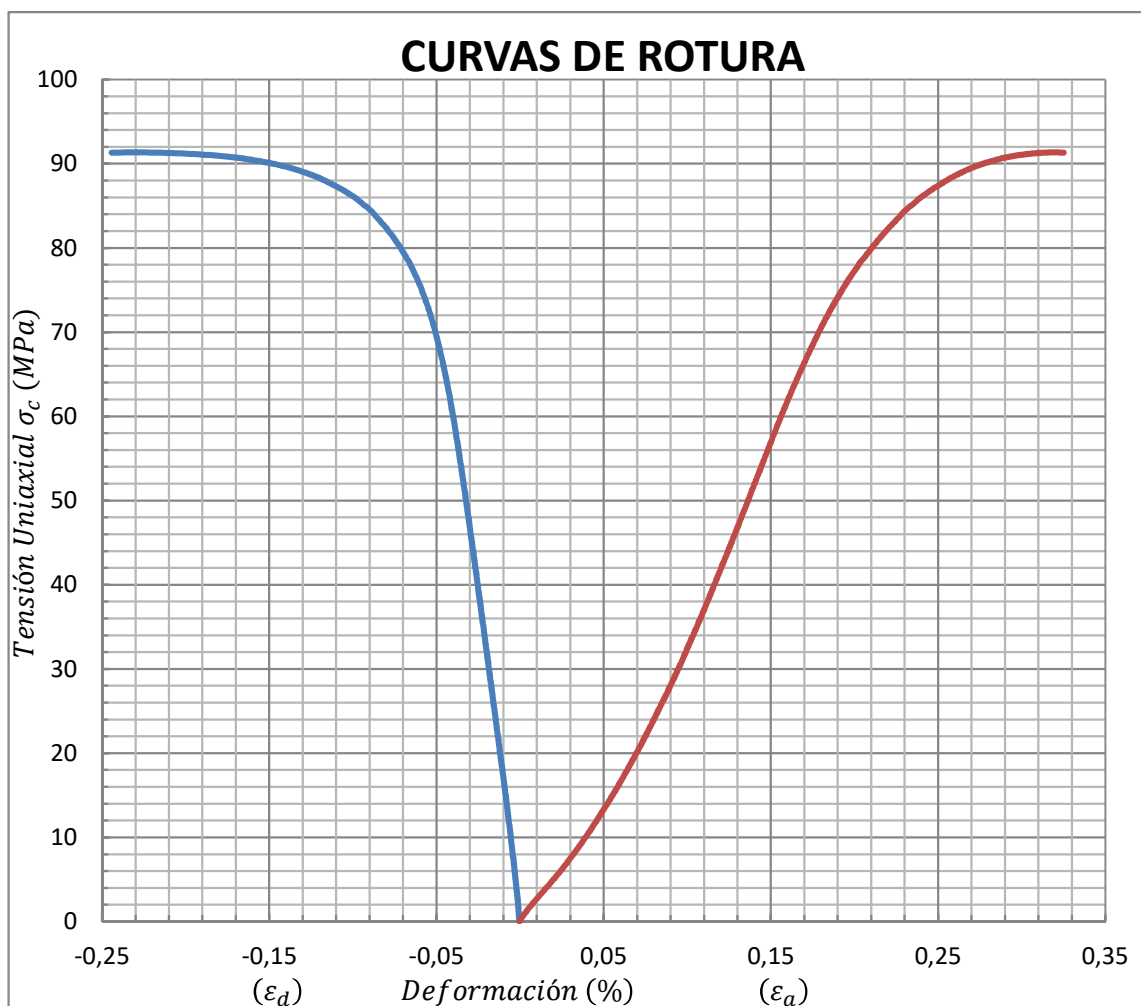
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>91,33</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	46,20
Coeficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



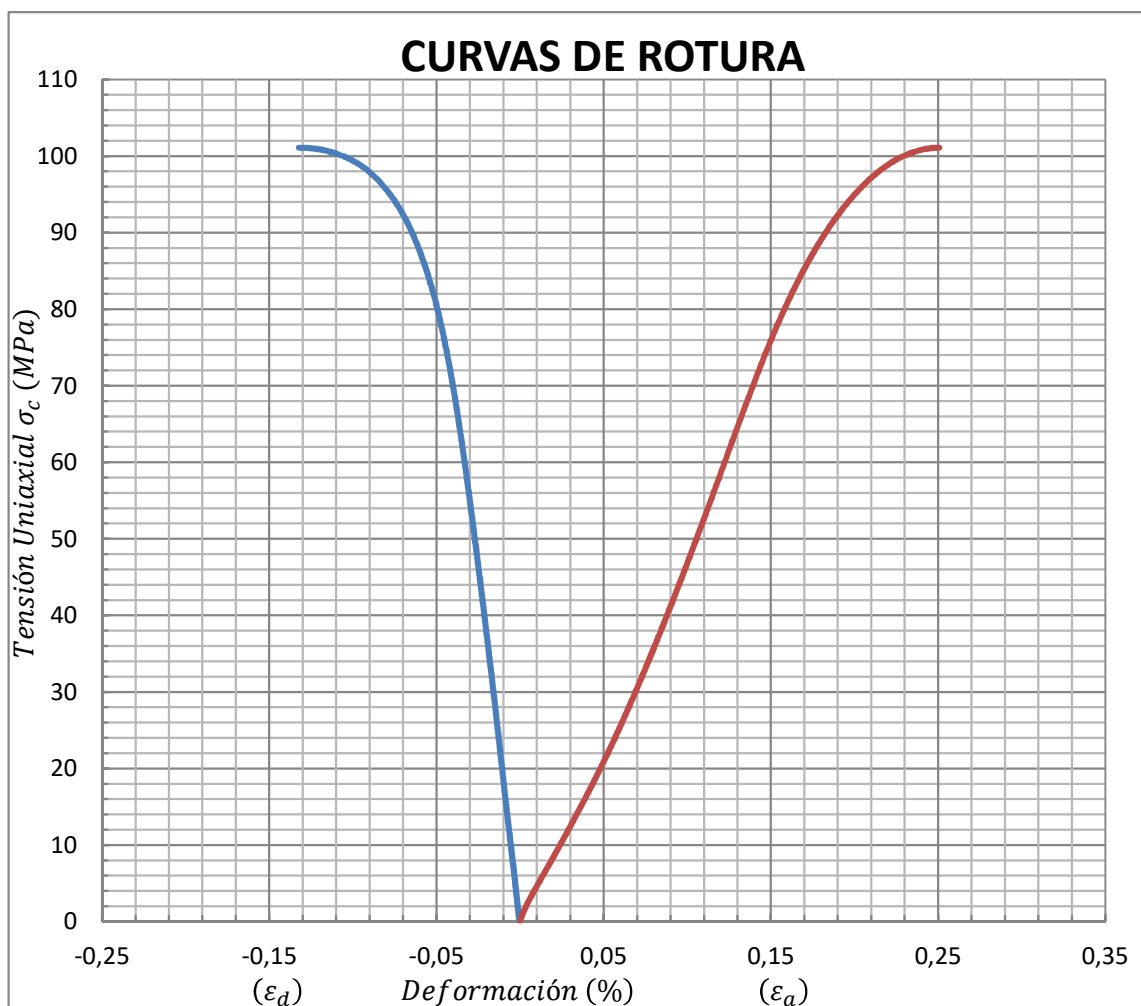
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>101,08</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	55,95
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



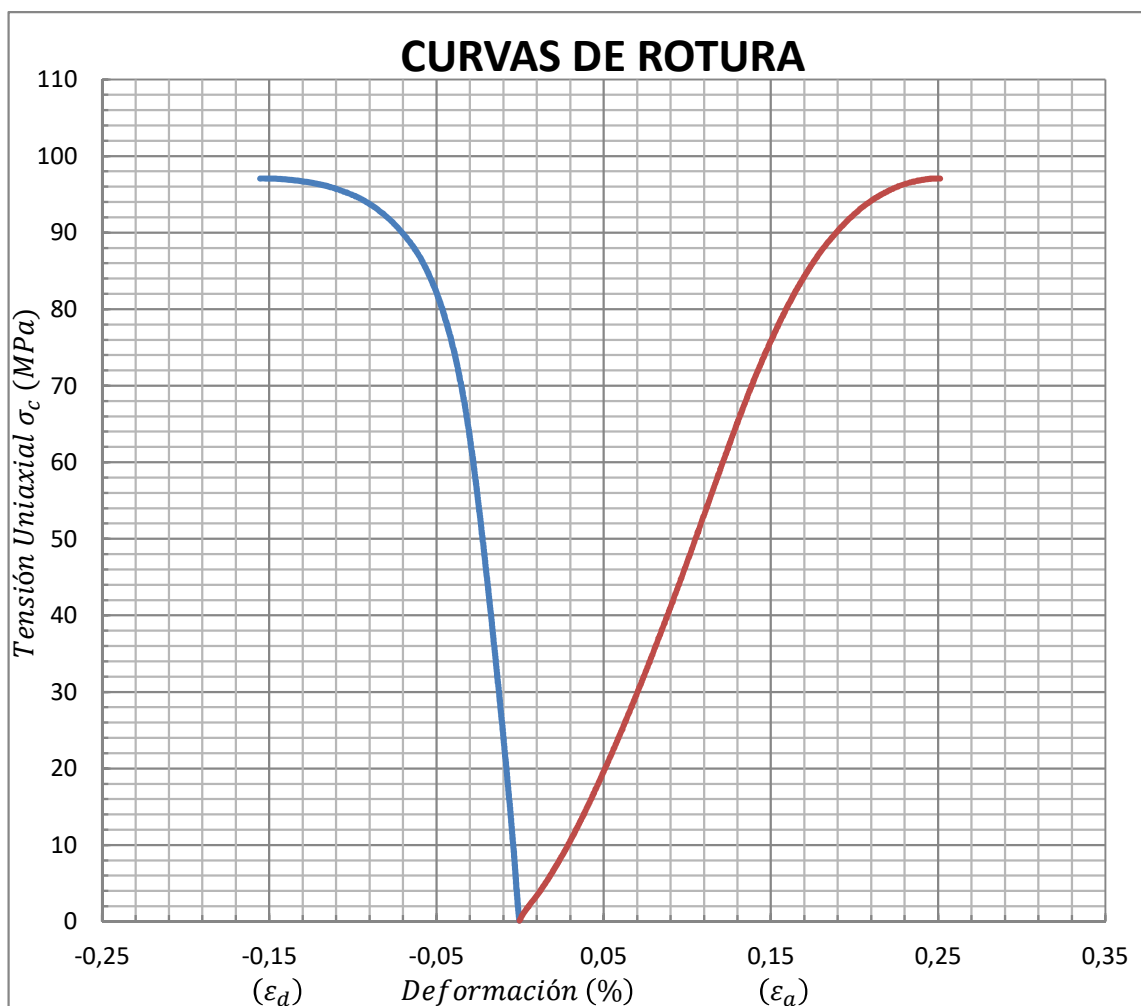
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>97,07</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	57,42
Coeficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



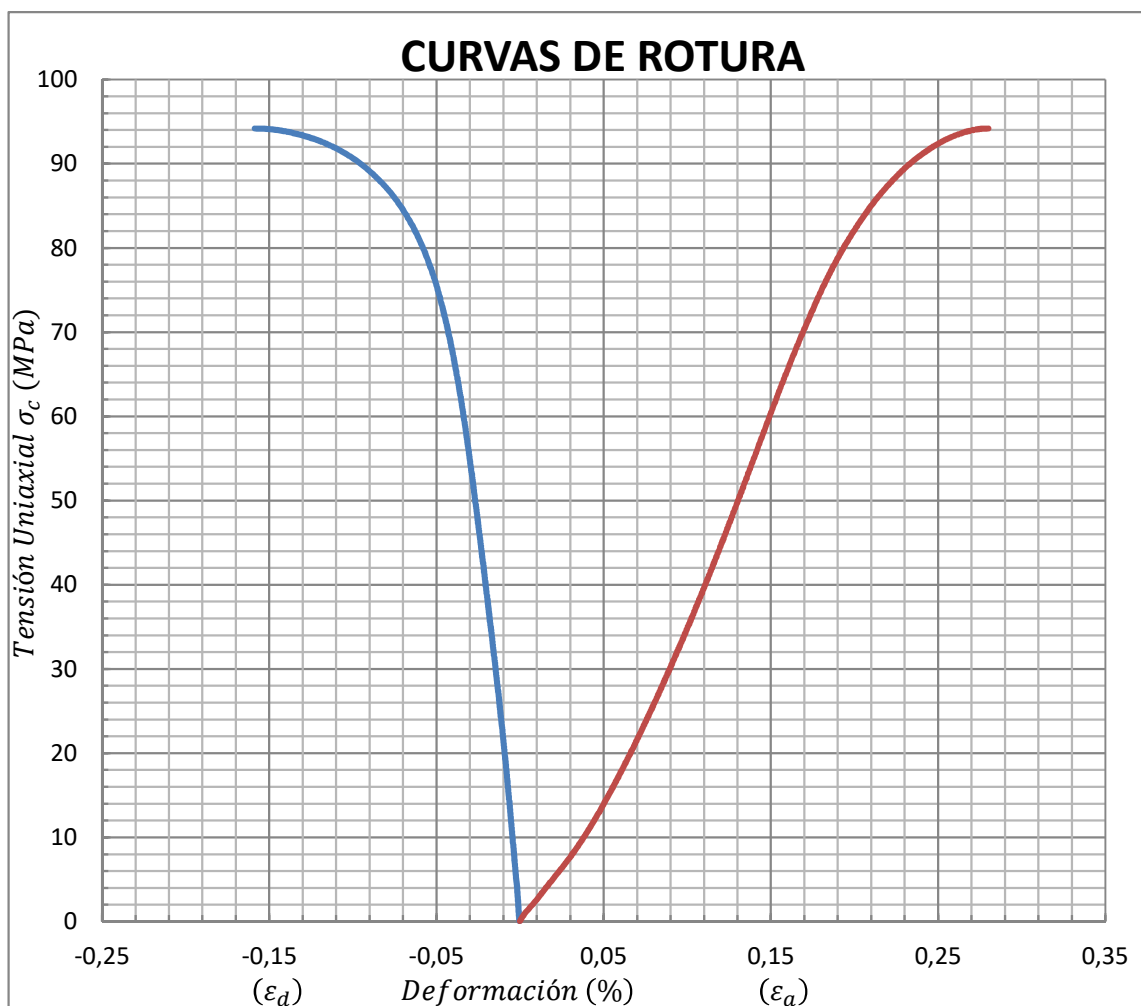
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>94,18</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	49,07
Coefficiente de Poisson	0,21
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



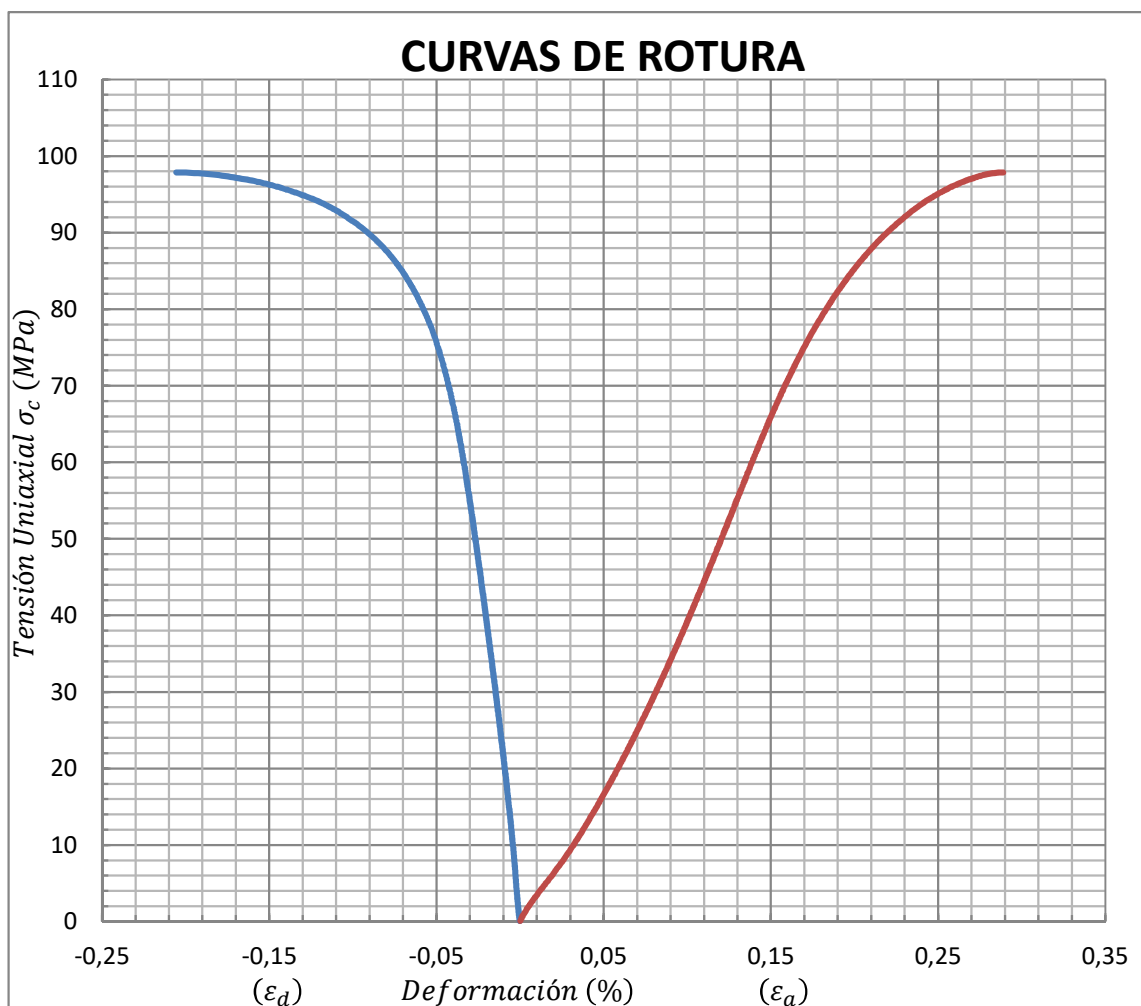
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>97,86</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	48,76
Coeficiente de Poisson	0,25
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



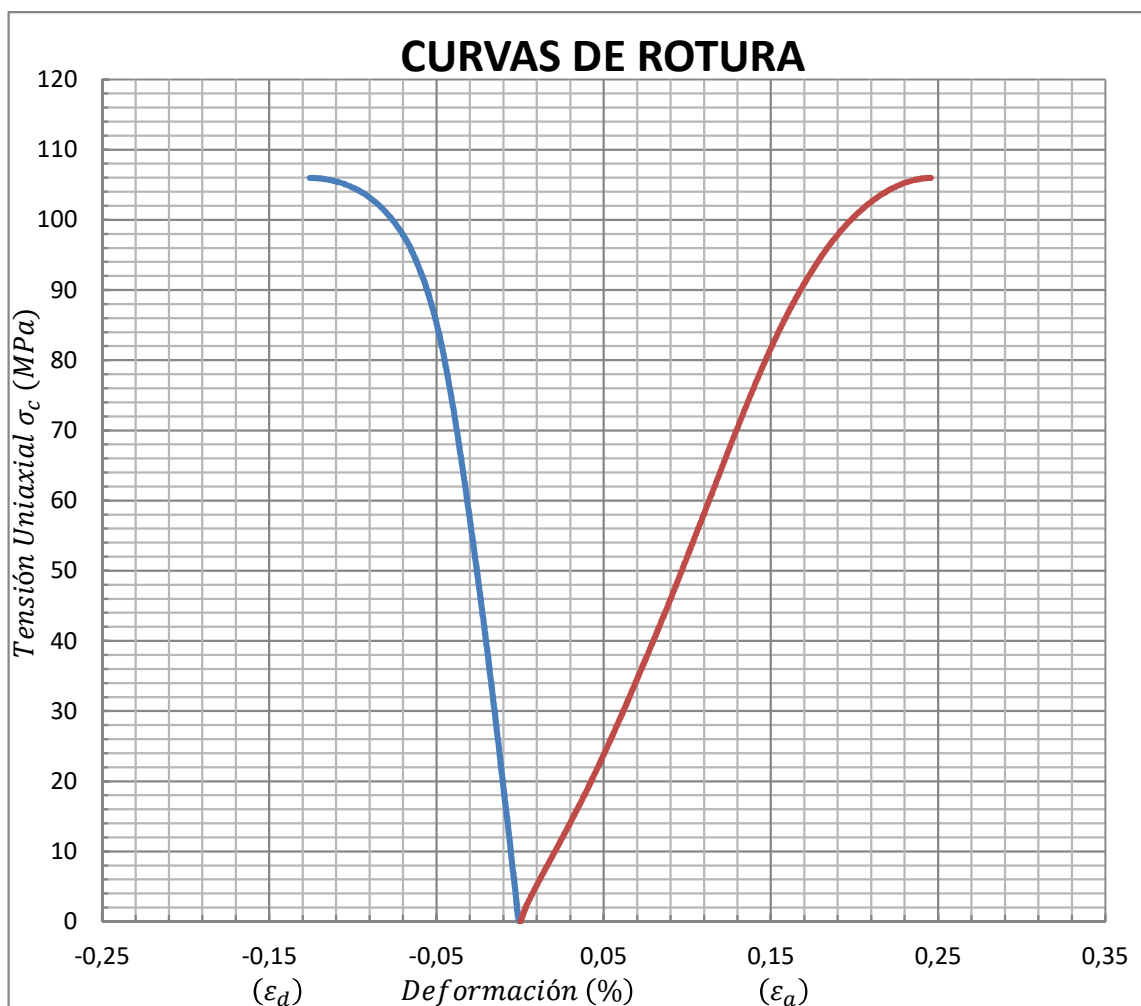
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>105,97</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	58,15
Coefficiente de Poisson	0,29
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



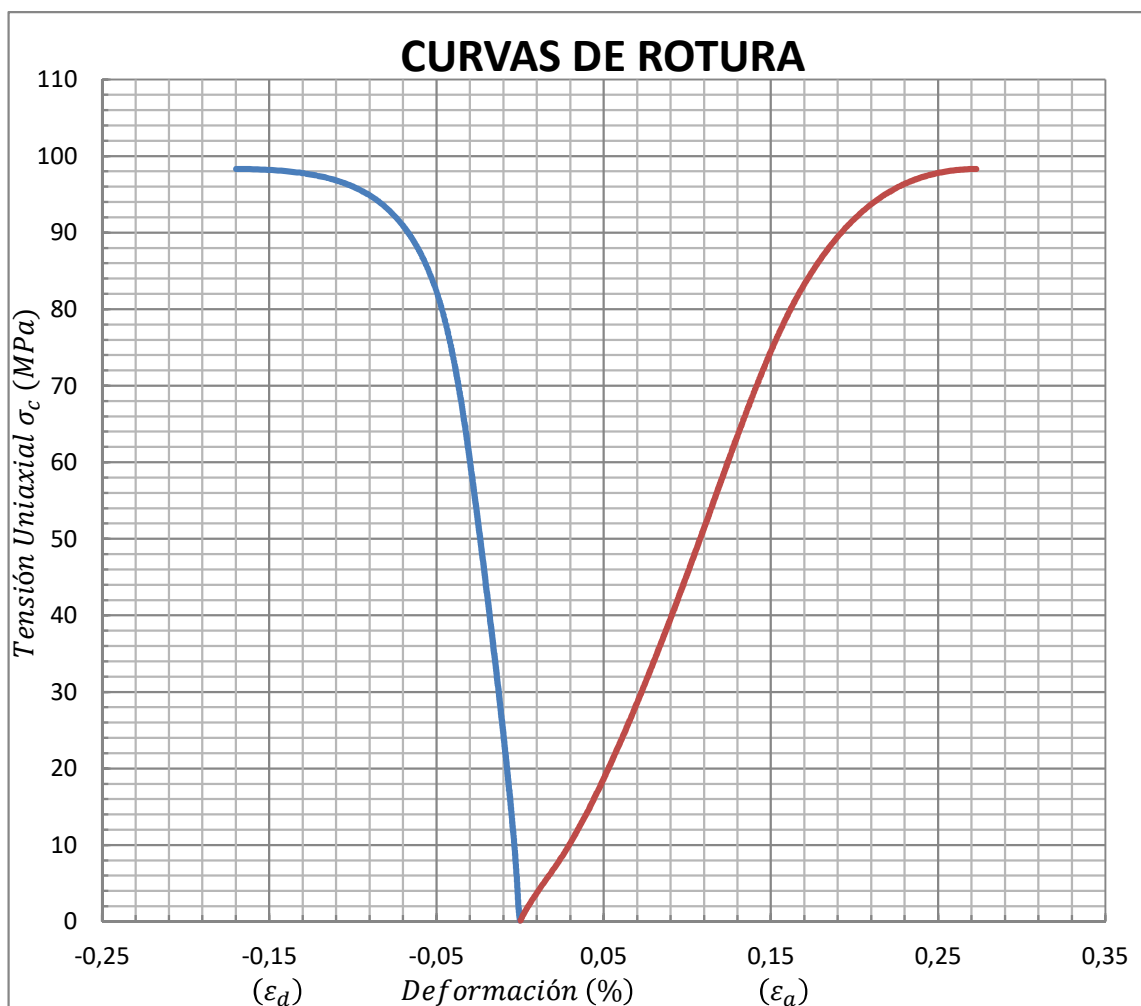
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara7**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>98,31</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	55,31
Coeficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



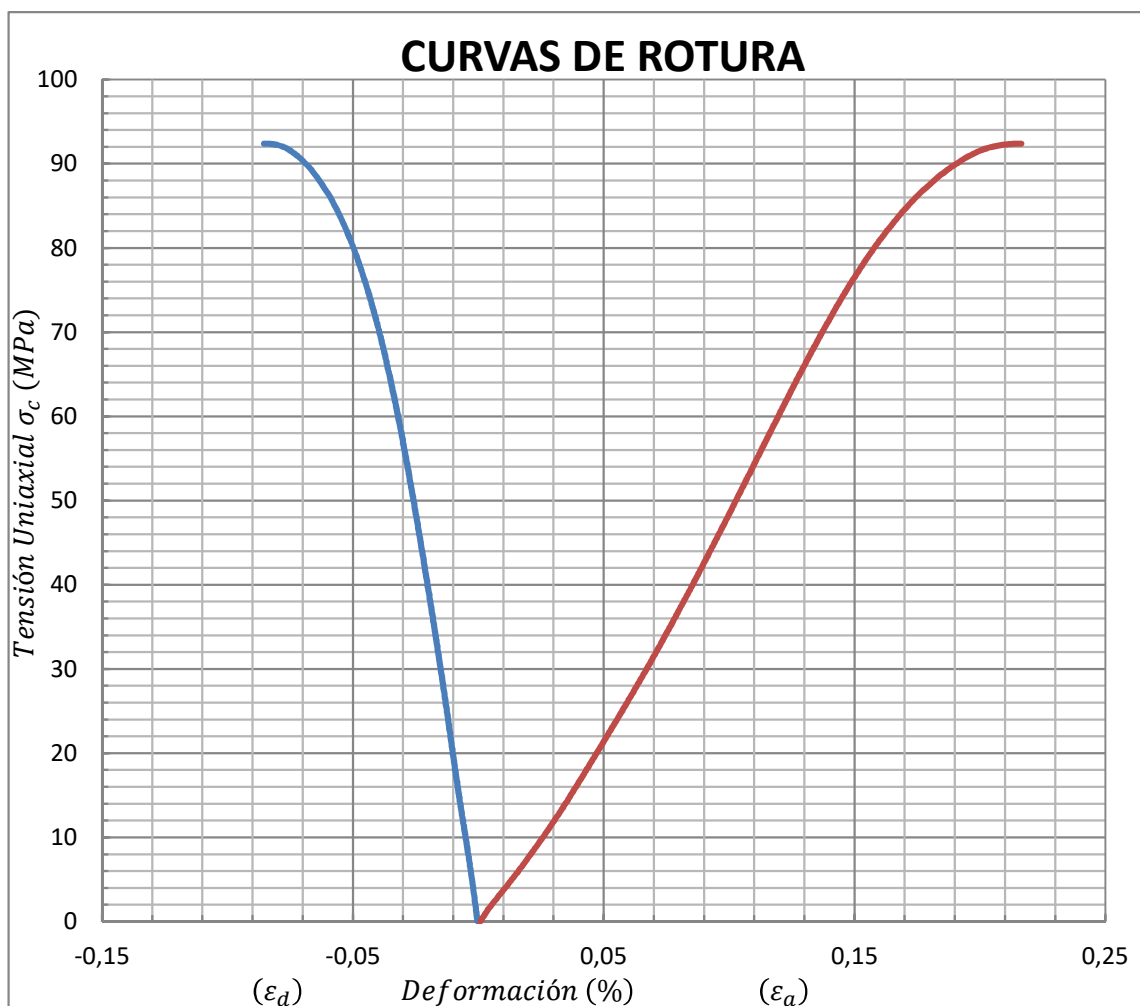
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara8

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>92,38</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	55,73
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





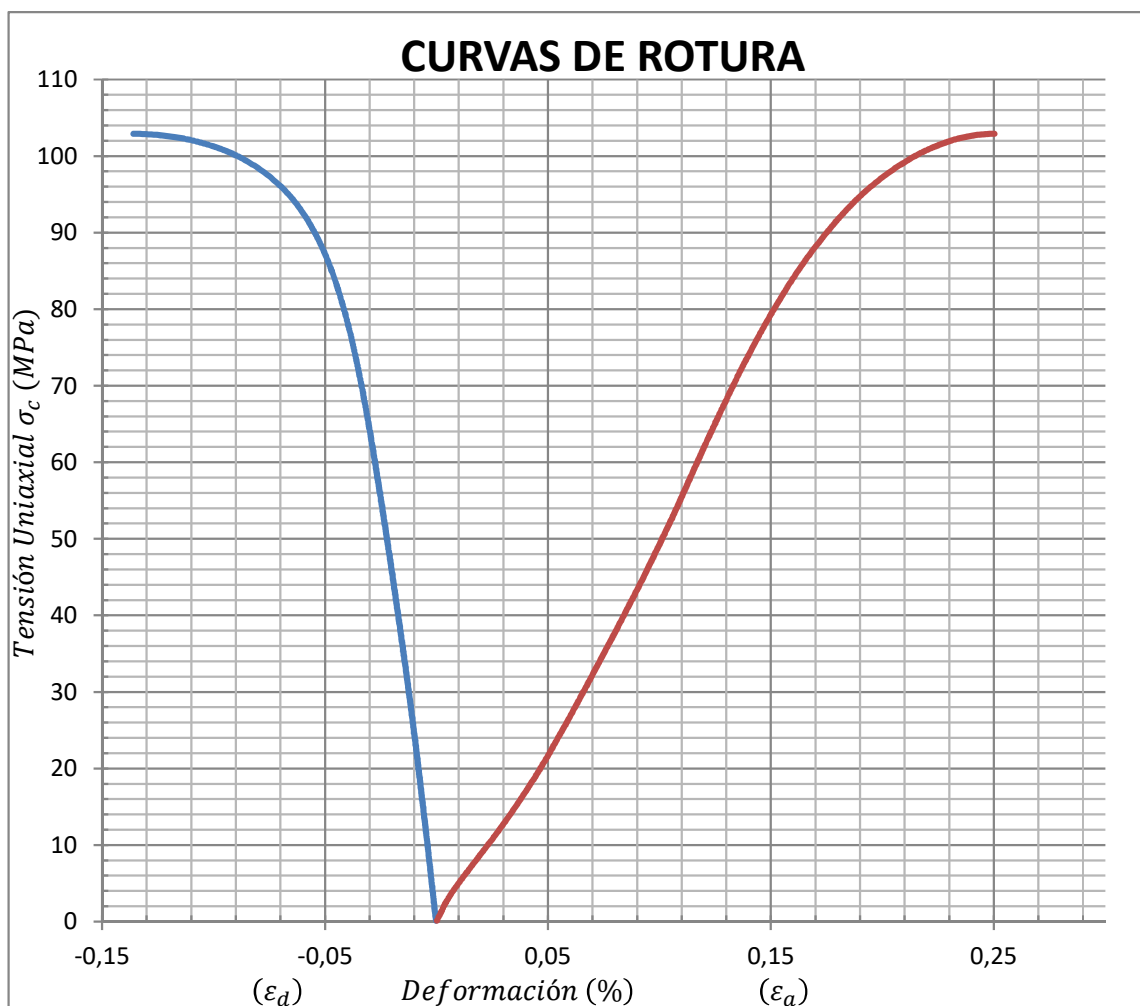
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara9

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>102,90</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	57,22
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



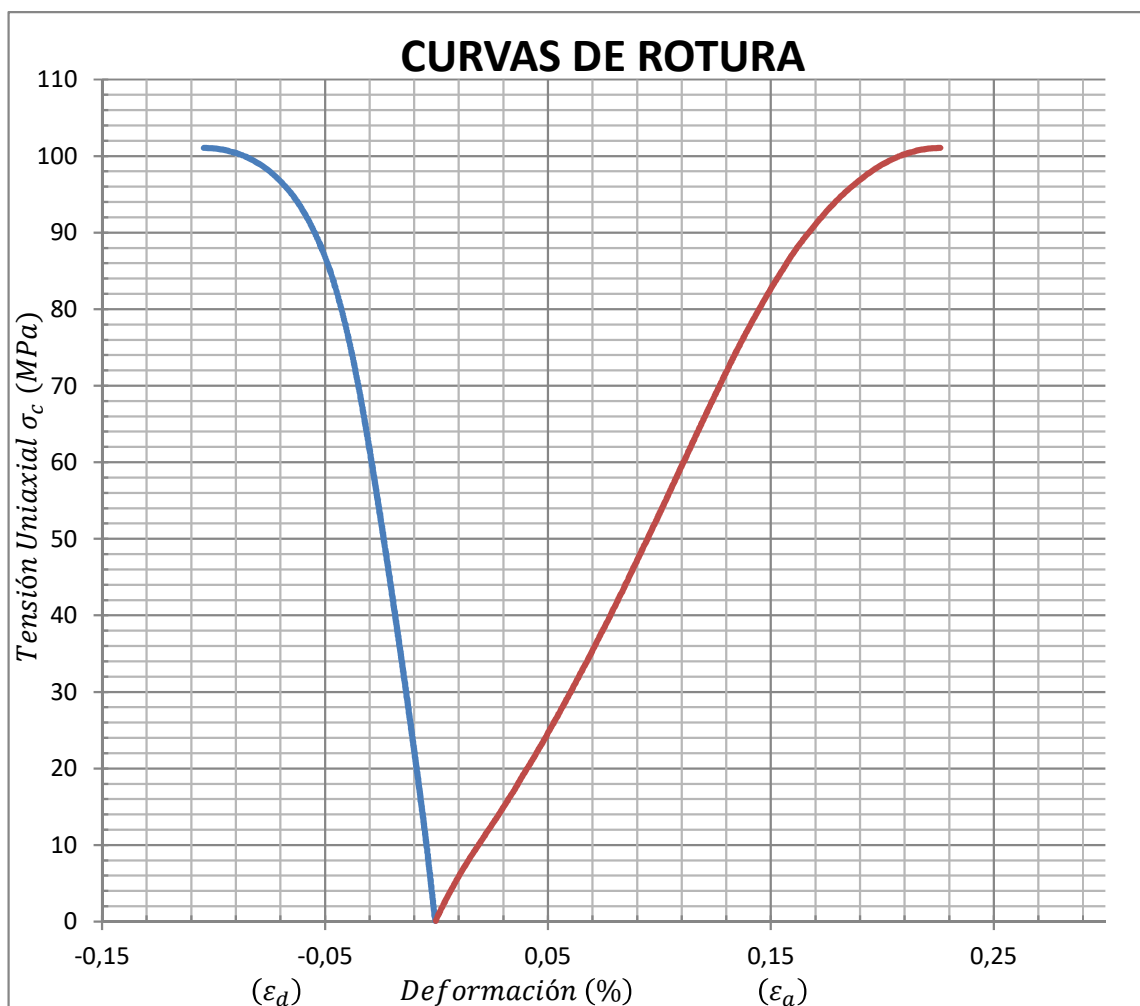
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara10

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>101,06</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	58,48
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



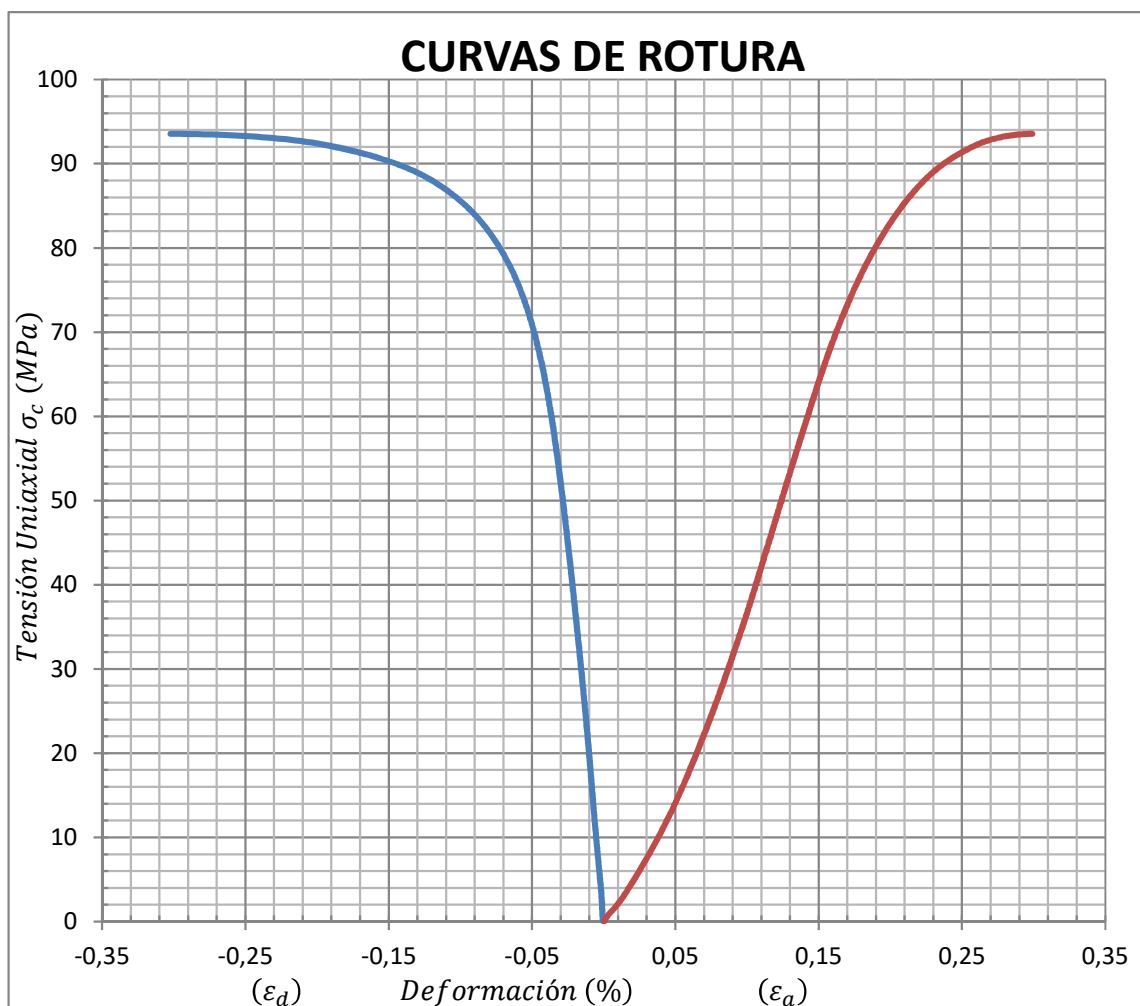
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara11

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>93,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	50,00
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



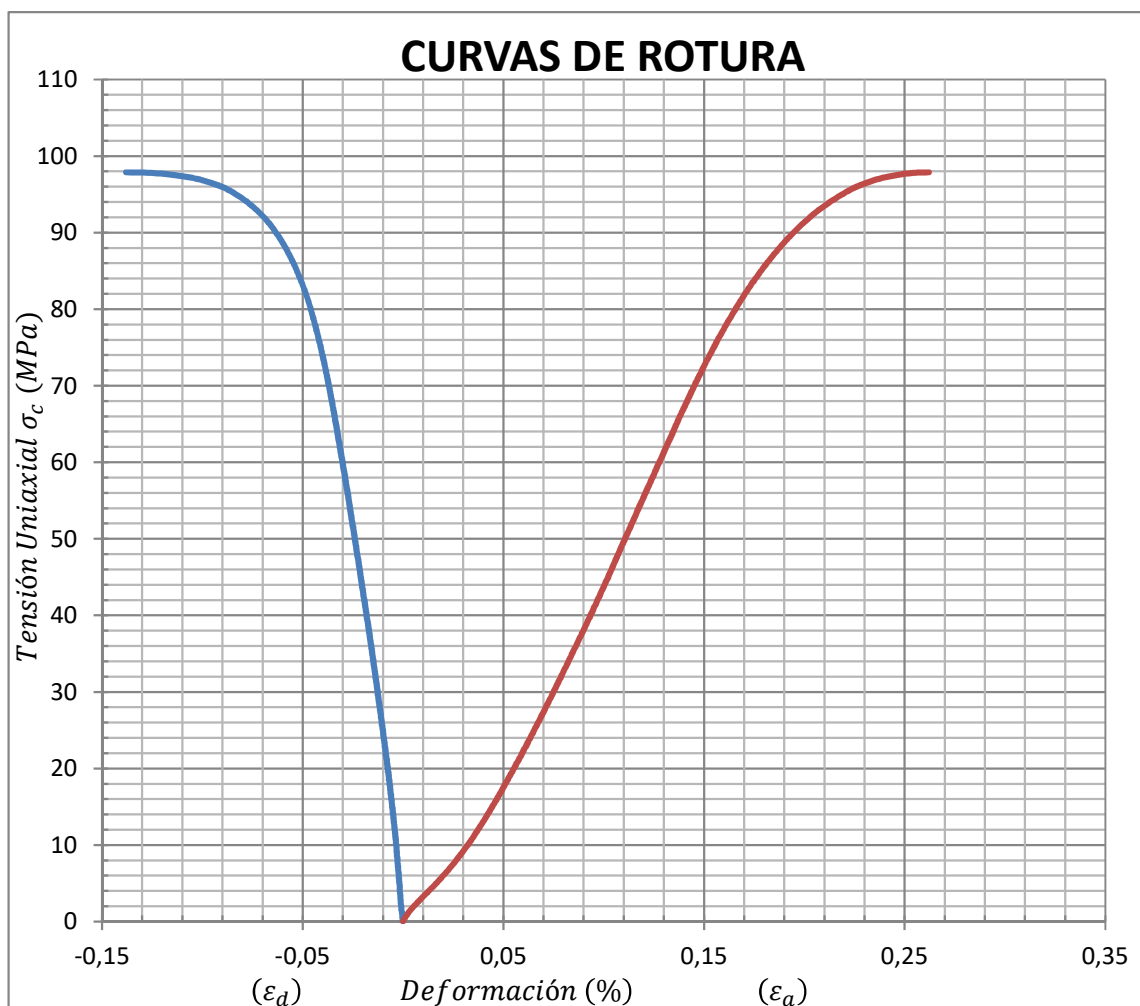
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

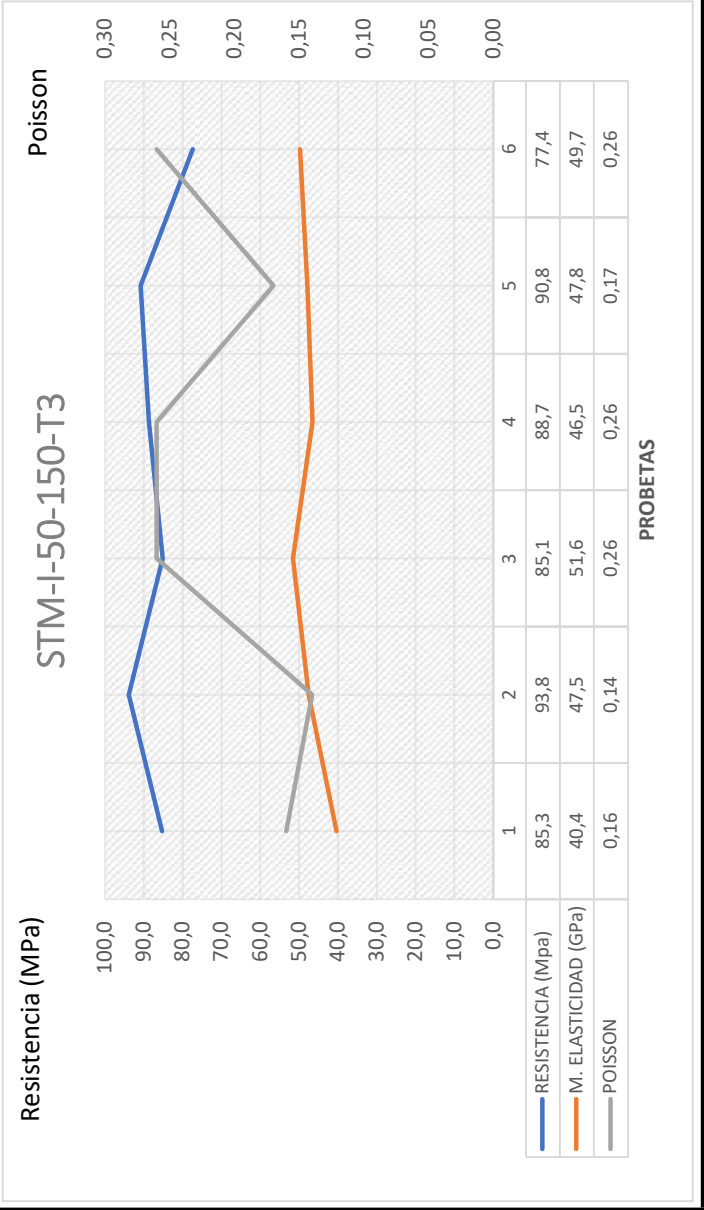
(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara12**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>97,87</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	54,44
Coefficiente de Poisson	0,22
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS						
MARMOL CARRARA			T3	70°C		
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)	M. YOUNG/RESISTENCIA
13	0,16	40,4	85,3	85,3	40,4	0,5
14	0,14	47,5	93,8	93,8	47,5	0,5
15	0,26	51,6	85,1	85,1	51,6	0,6
16	0,26	46,5	88,7	88,7	46,5	0,5
17	0,17	47,8	90,8	90,8	47,8	0,5
18	0,26	49,7	77,4	77,4	49,7	0,6
	0,21	47,3	86,8	86,8	47,3	0,5



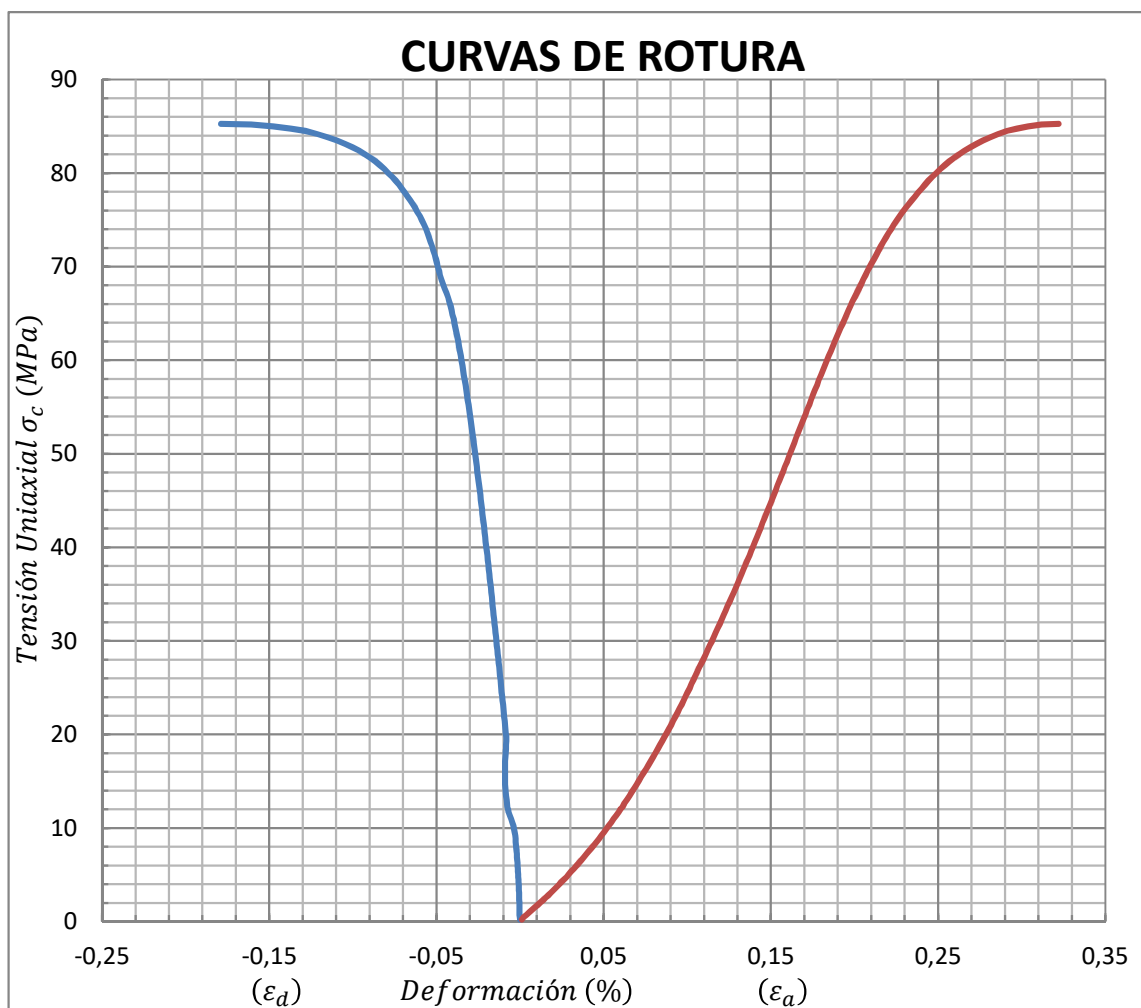
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>85,26</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	40,38
Coeficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



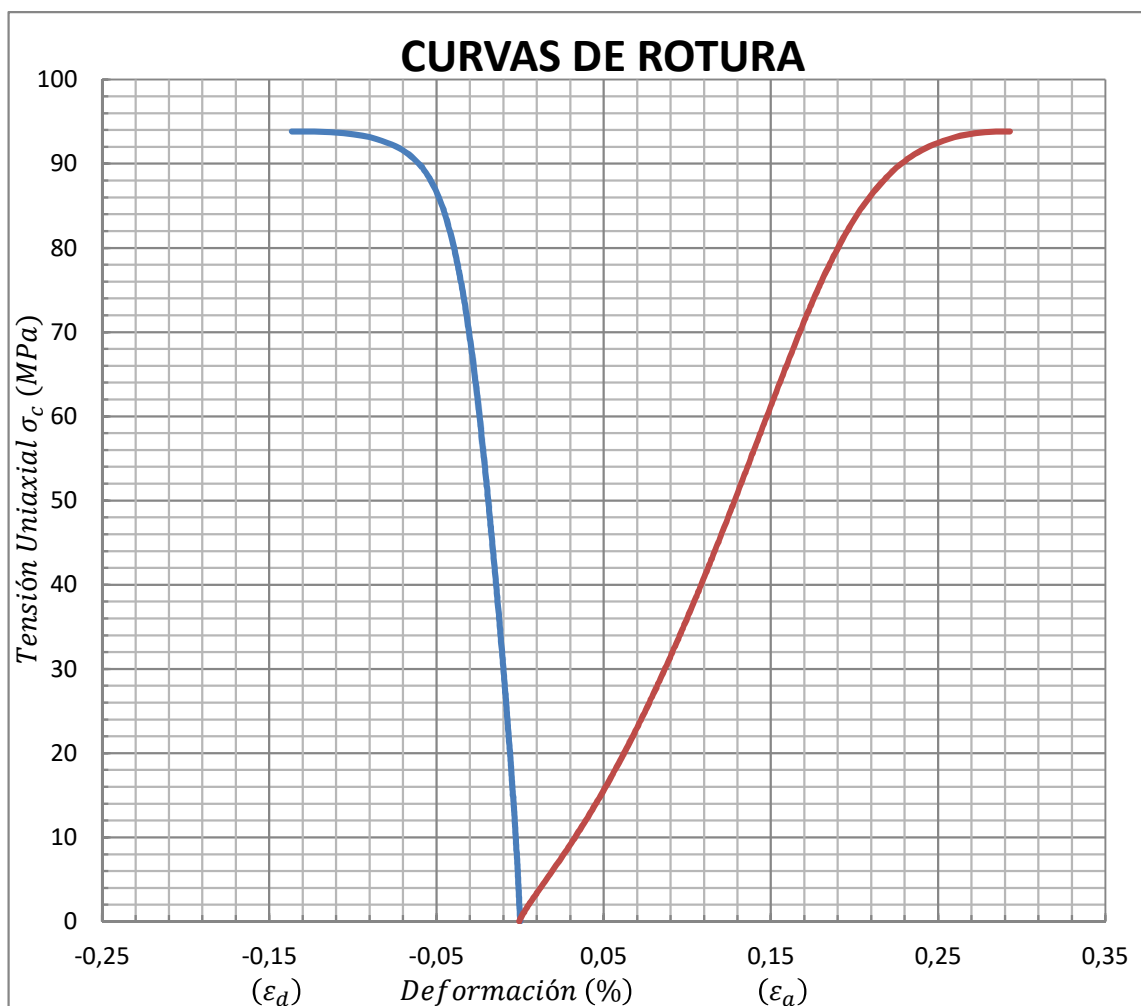
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>93,83</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	47,49
Coefficiente de Poisson	0,14
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



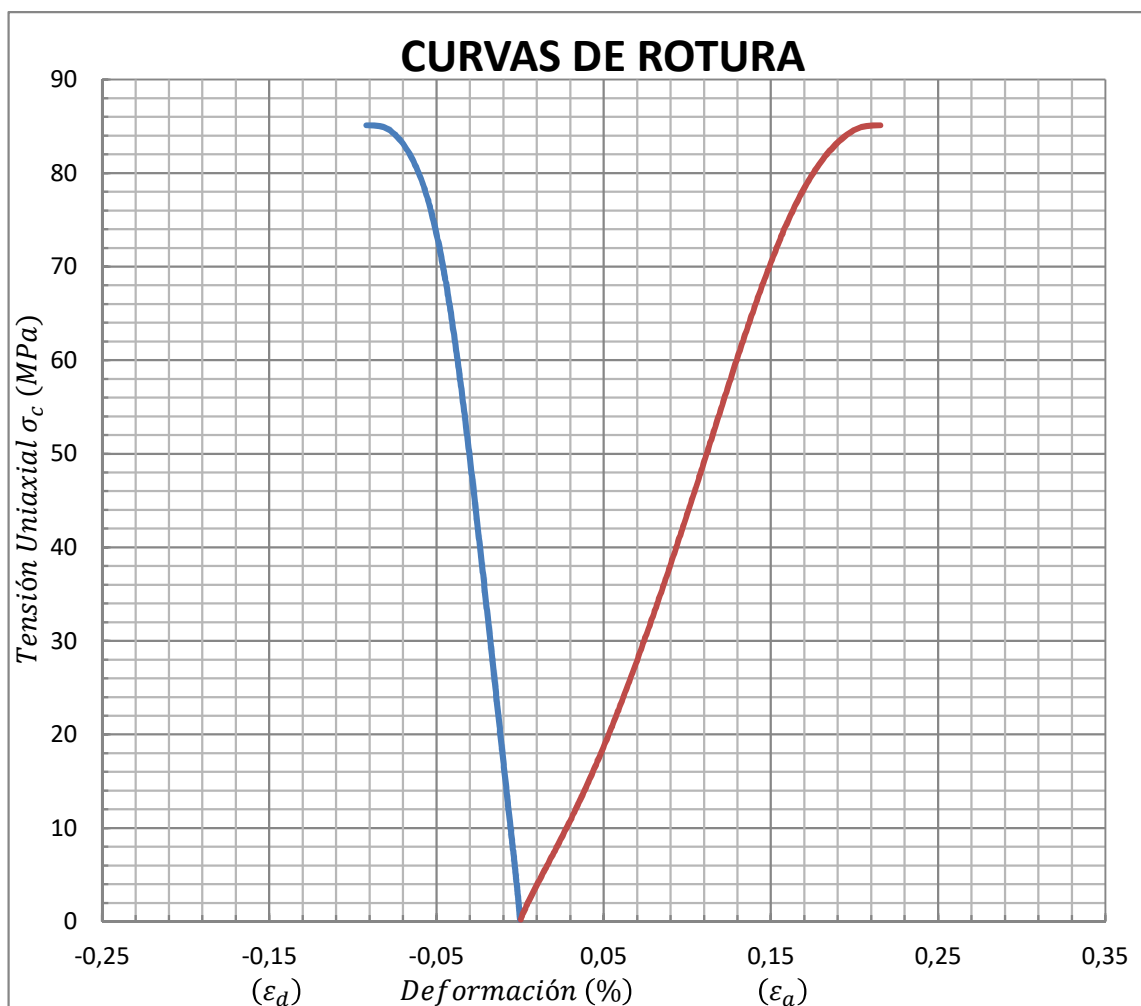
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>85,10</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	51,62
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00





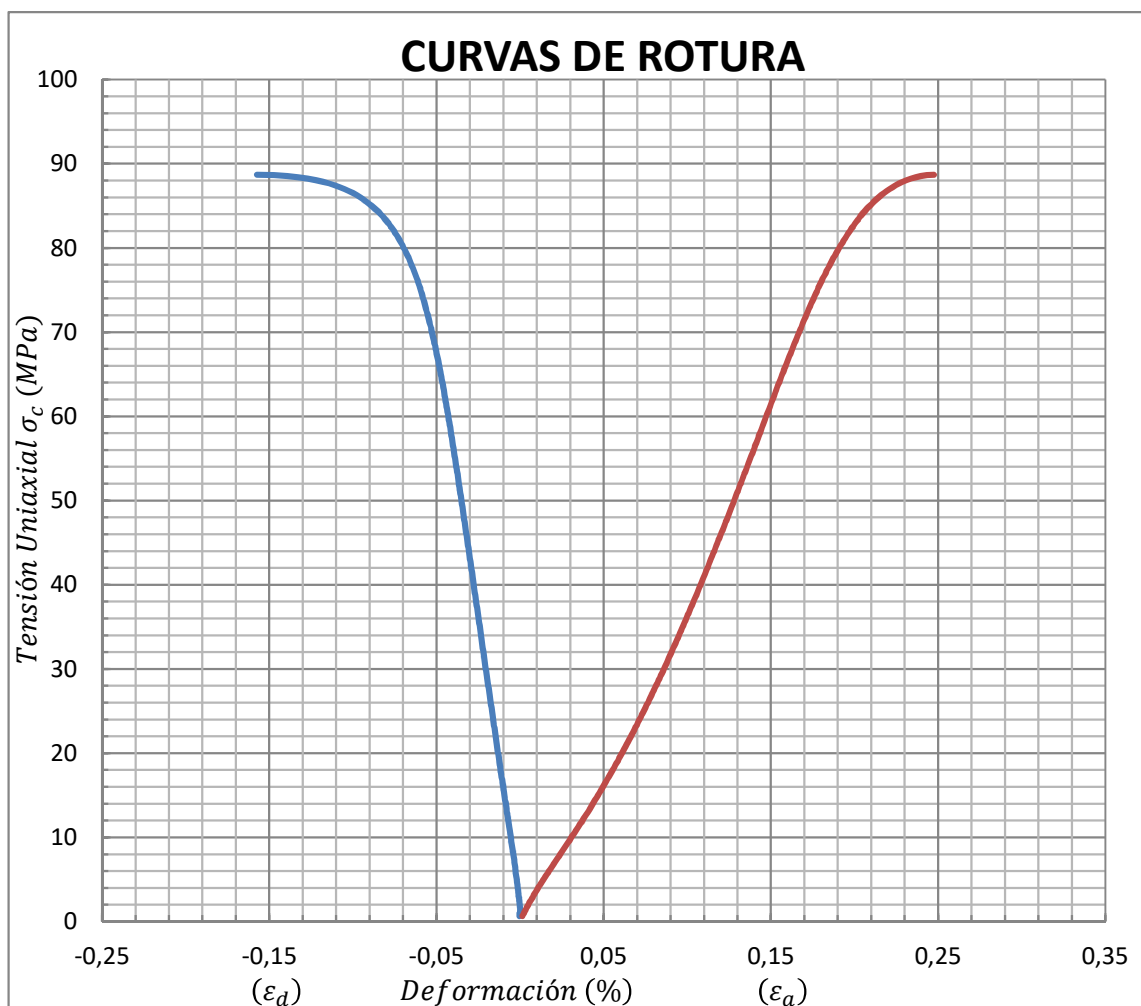
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>88,69</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	46,53
Coeficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



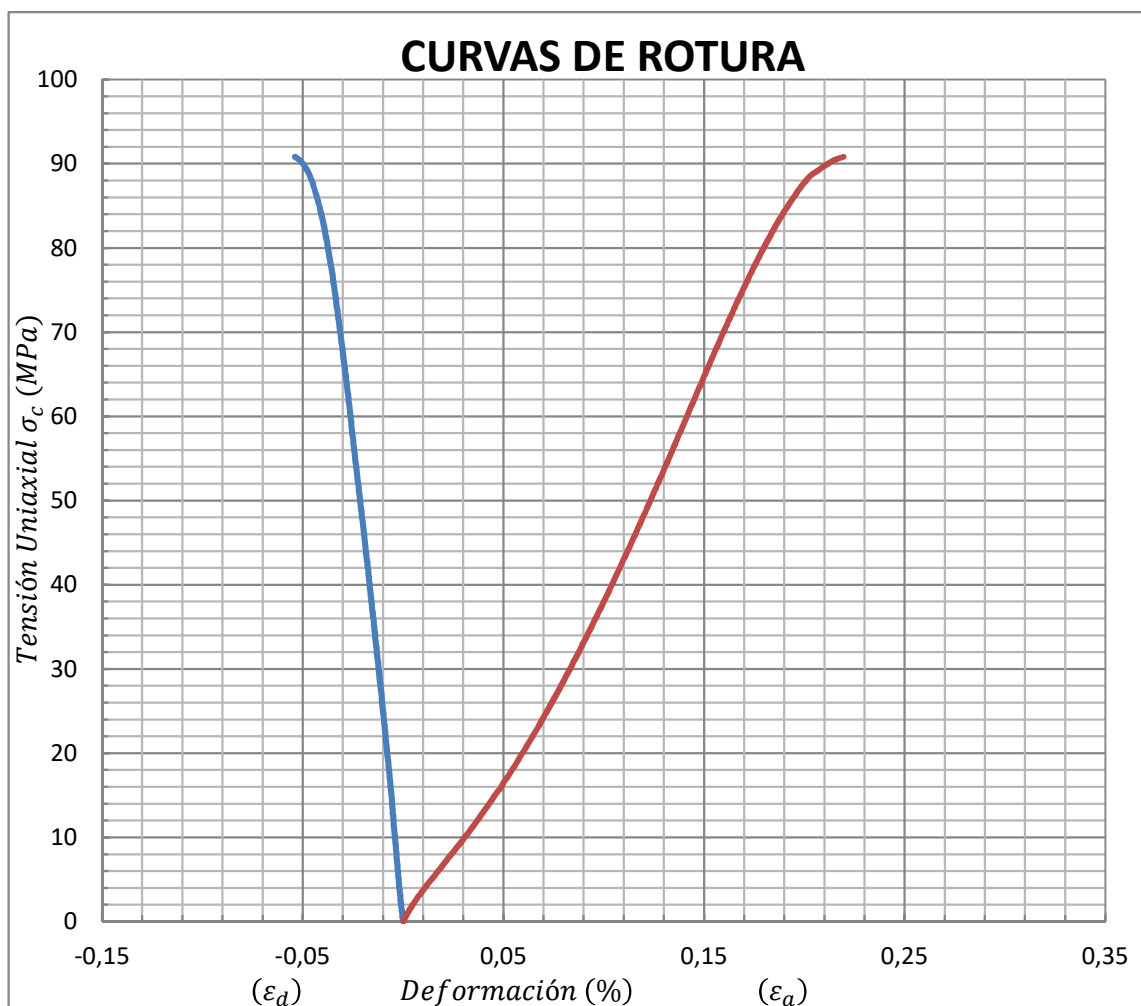
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>90,82</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	47,84
Coefficiente de Poisson	0,17
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



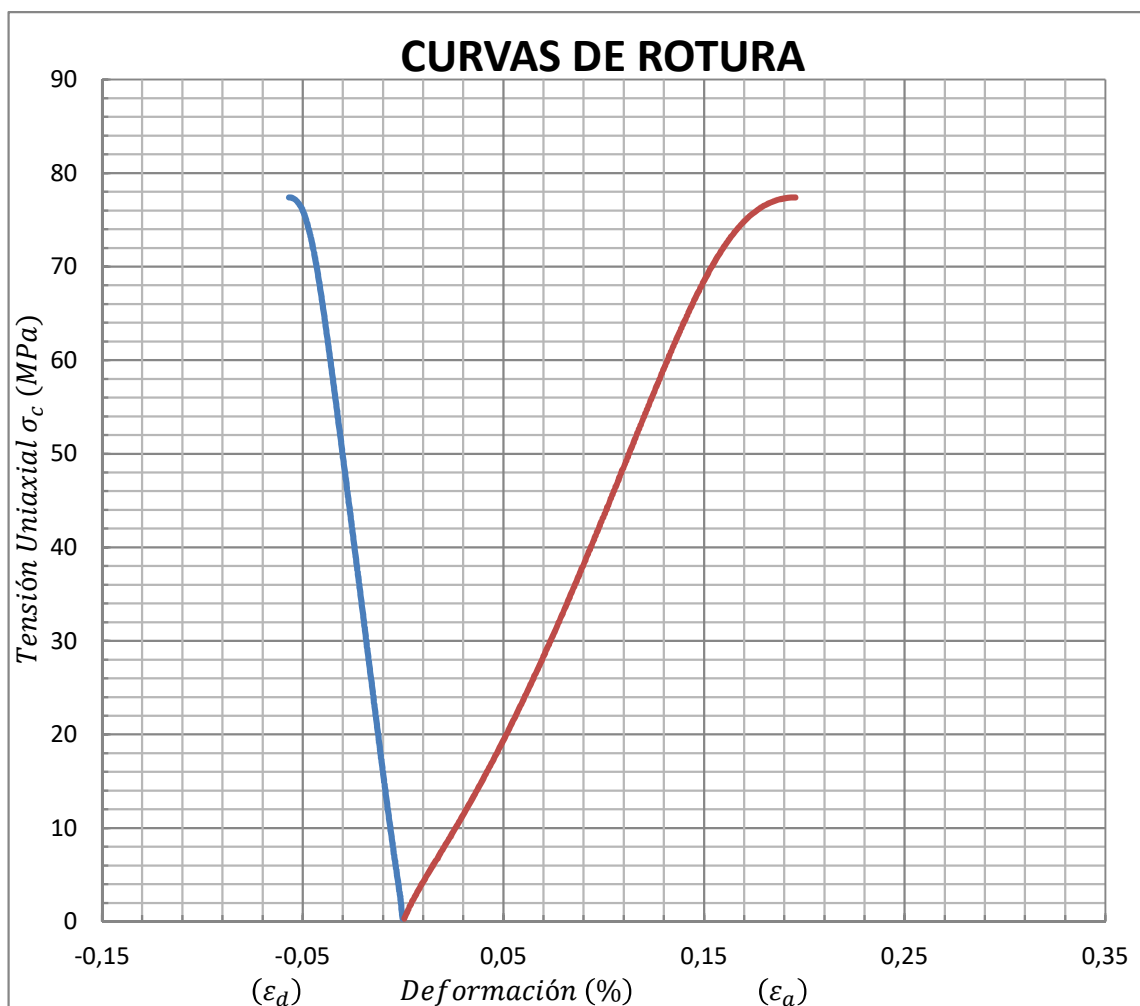
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

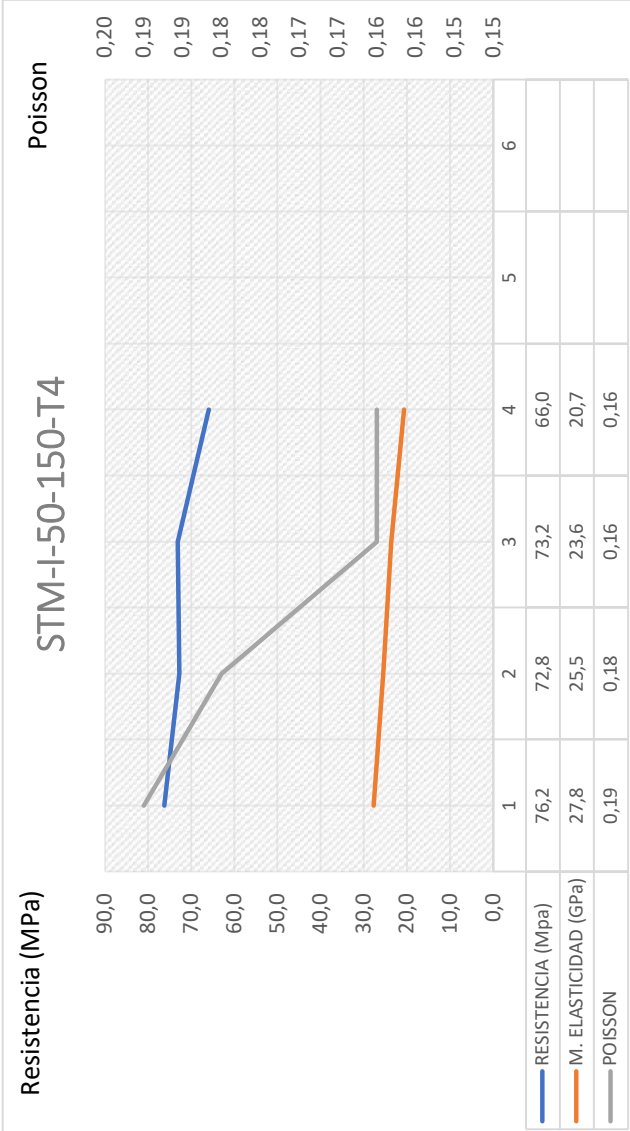
(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara6**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>77,39</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	49,74
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
MARMOL CARRARA			T4	150°C	
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)
19	0,19	27,8	76,2	76,2	27,8
20	0,18	25,5	72,8	72,8	25,5
21	0,16	23,6	73,2	73,2	23,6
22	0,16	20,7	66,0	66,0	20,7
23					
24					
	0,17	24,4	72,0	72,0	24,4
					0,3



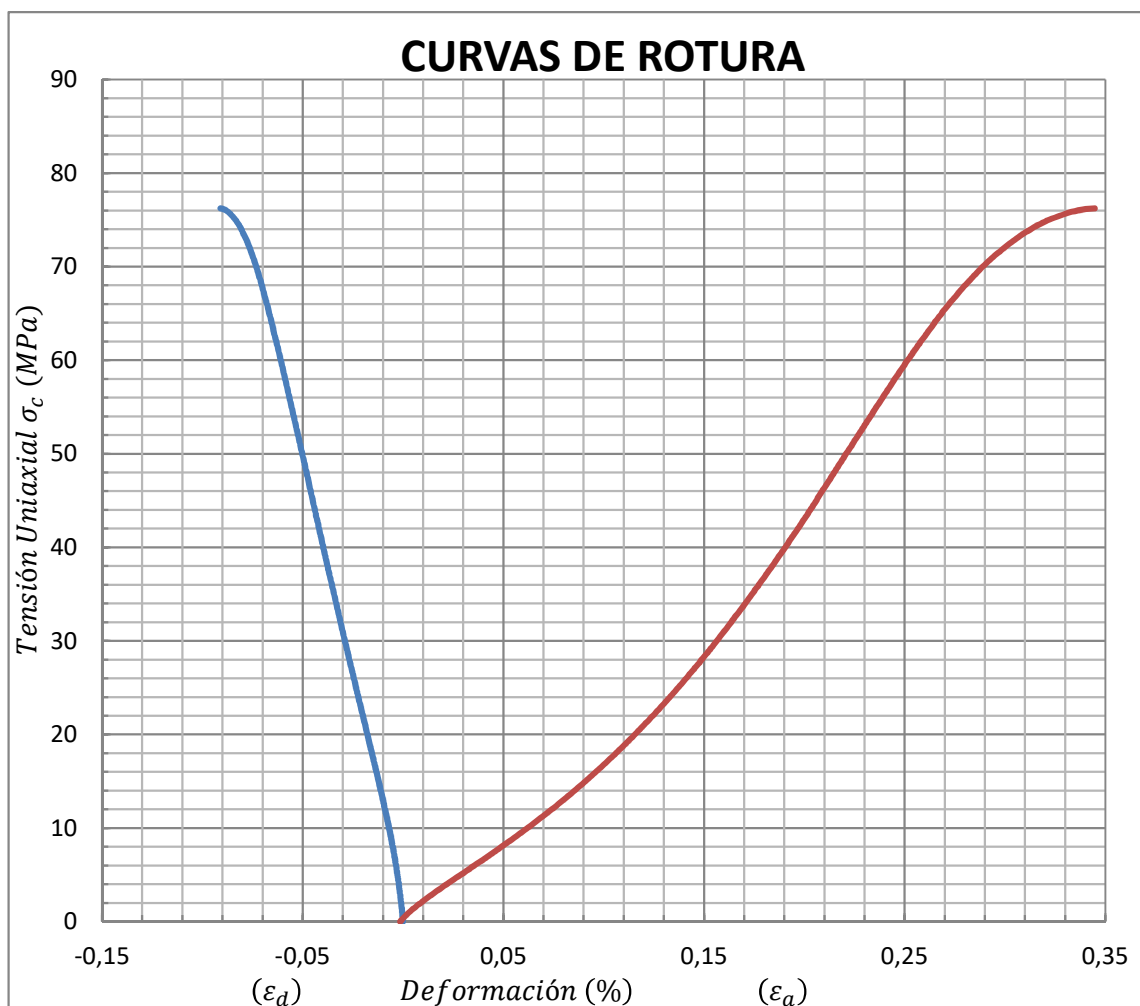
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>76,22</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	27,75
Coefficiente de Poisson	0,19
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



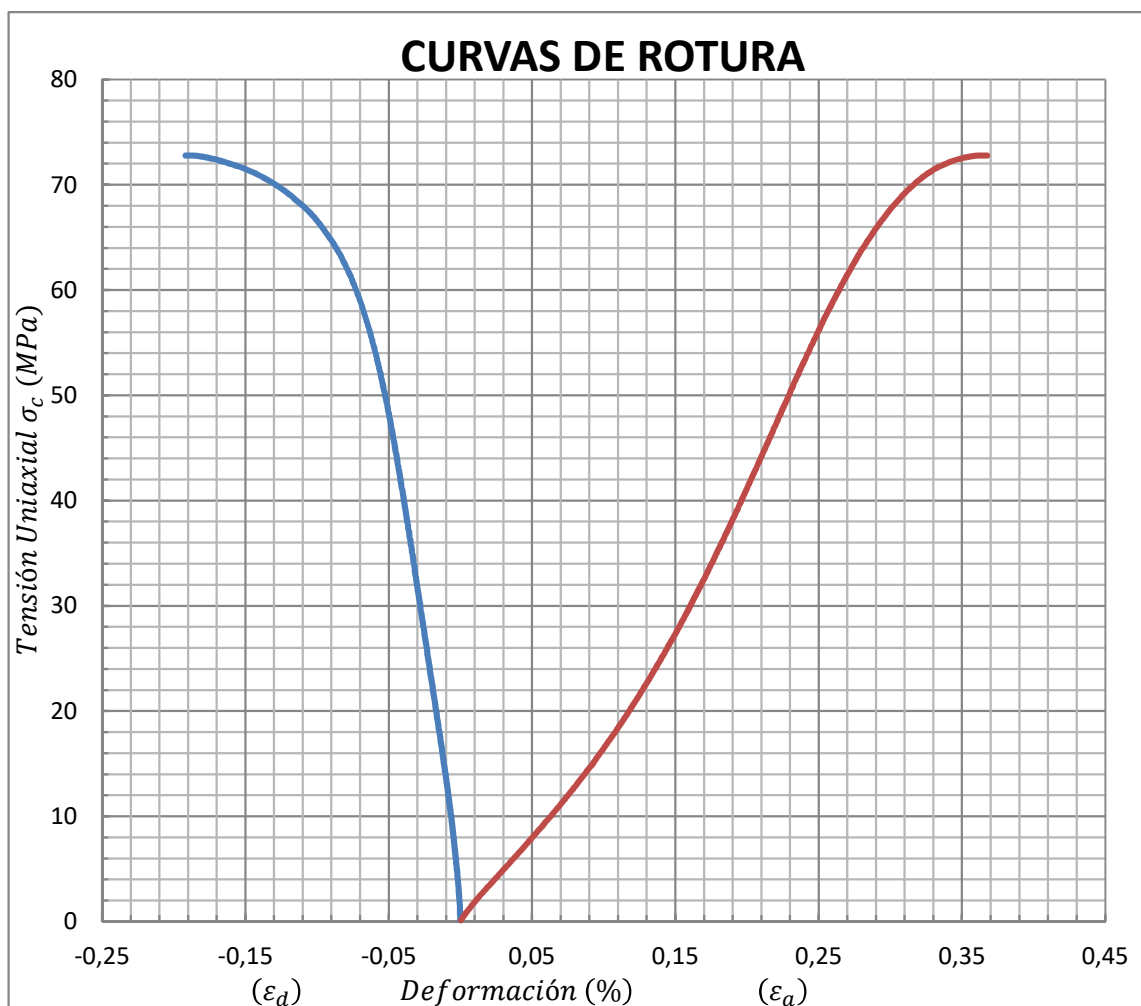
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>72,78</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	25,52
Coeficiente de Poisson	0,18
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



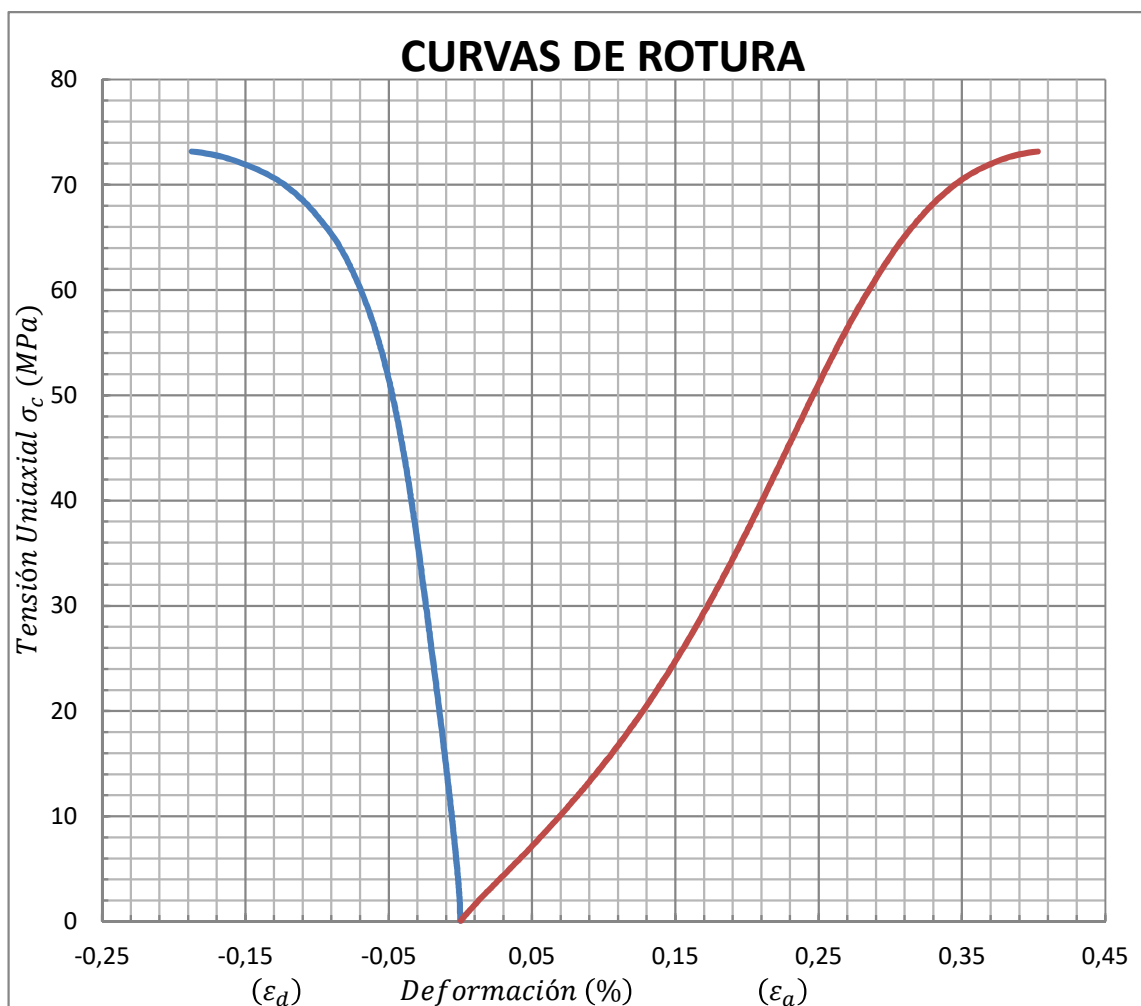
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>73,15</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	23,61
Coeficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



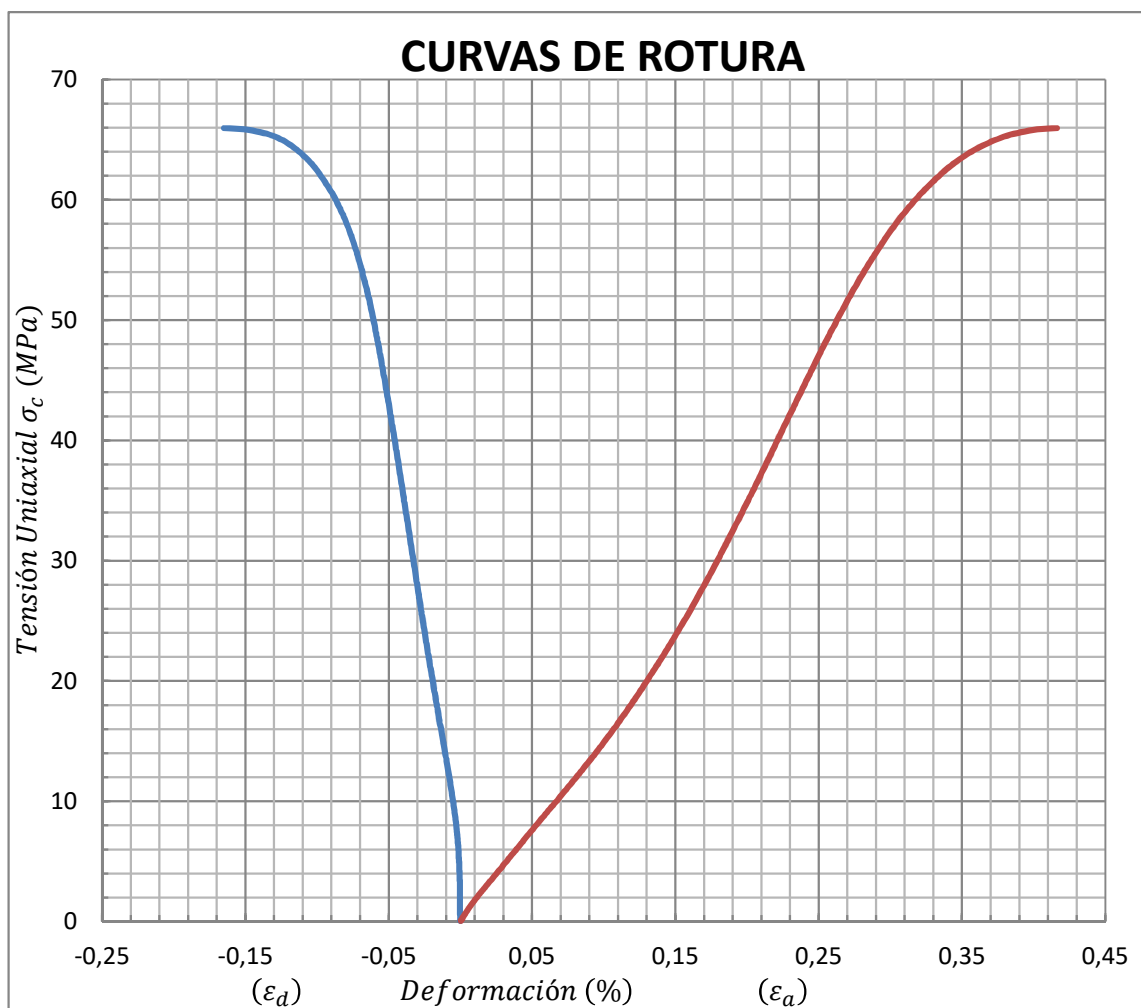
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

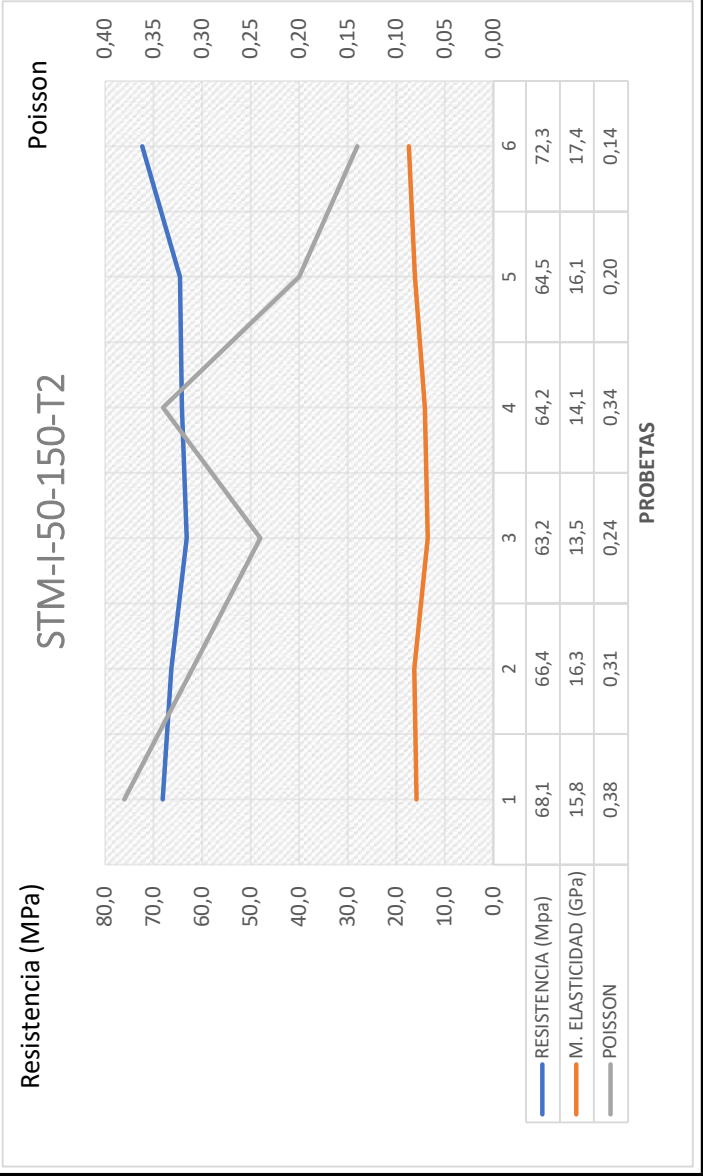
Muestra N°: Marmol-Carrara4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>65,95</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,70
Coefficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00





ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS					
MARMOL CARRARA			T2	250°C	
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. YOUNG/RESISTENCIA
25	0,38	15,8	68,1	68,1	0,2
26	0,31	16,3	66,4	66,4	0,2
27	0,24	13,5	63,2	63,2	0,2
28	0,34	14,1	64,2	64,2	0,2
29	0,20	16,1	64,5	64,5	0,2
30	0,14	17,4	72,3	72,3	0,2
	<b>0,27</b>	<b>15,5</b>	<b>66,4</b>	<b>66,4</b>	<b>0,2</b>



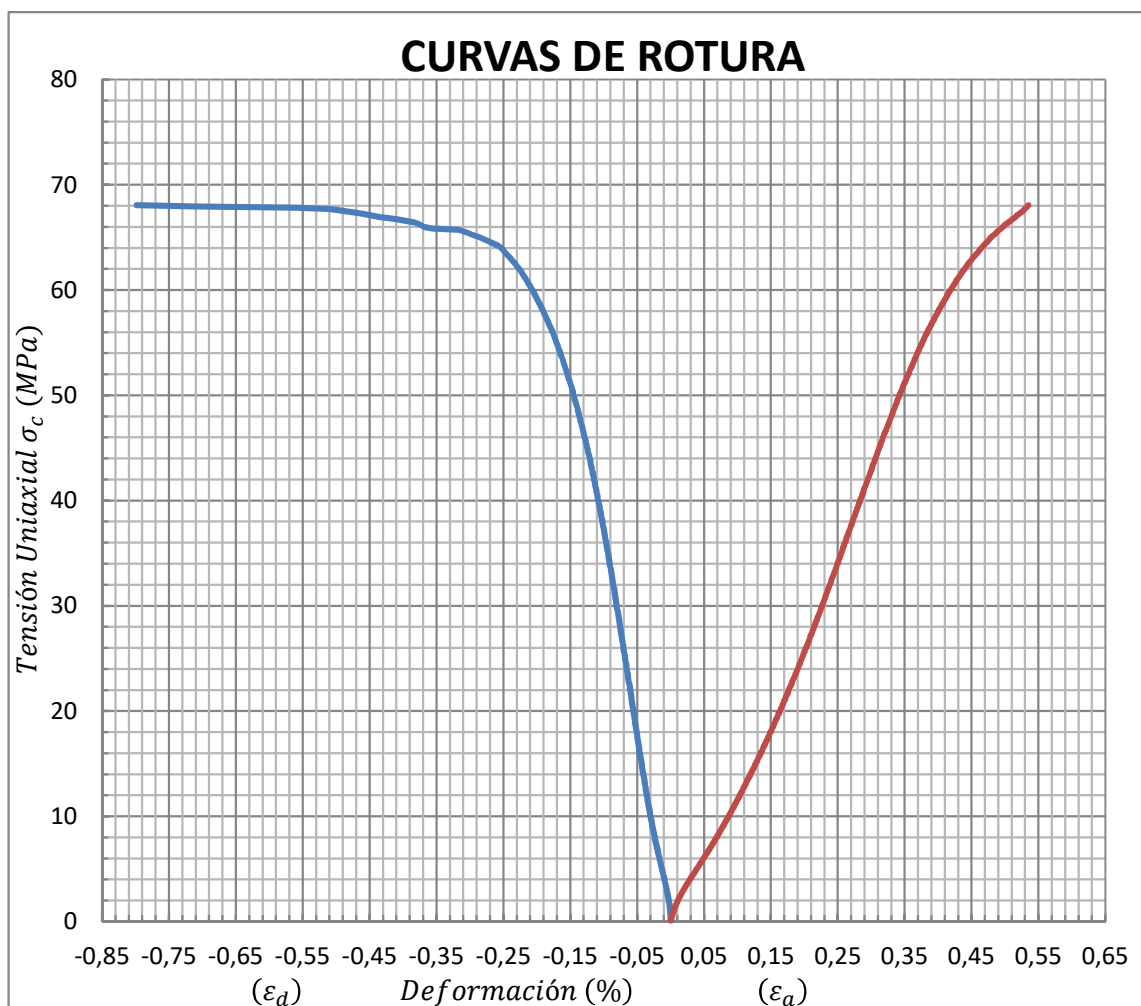
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara1**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>68,06</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	15,83
Coefficiente de Poisson	0,38
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



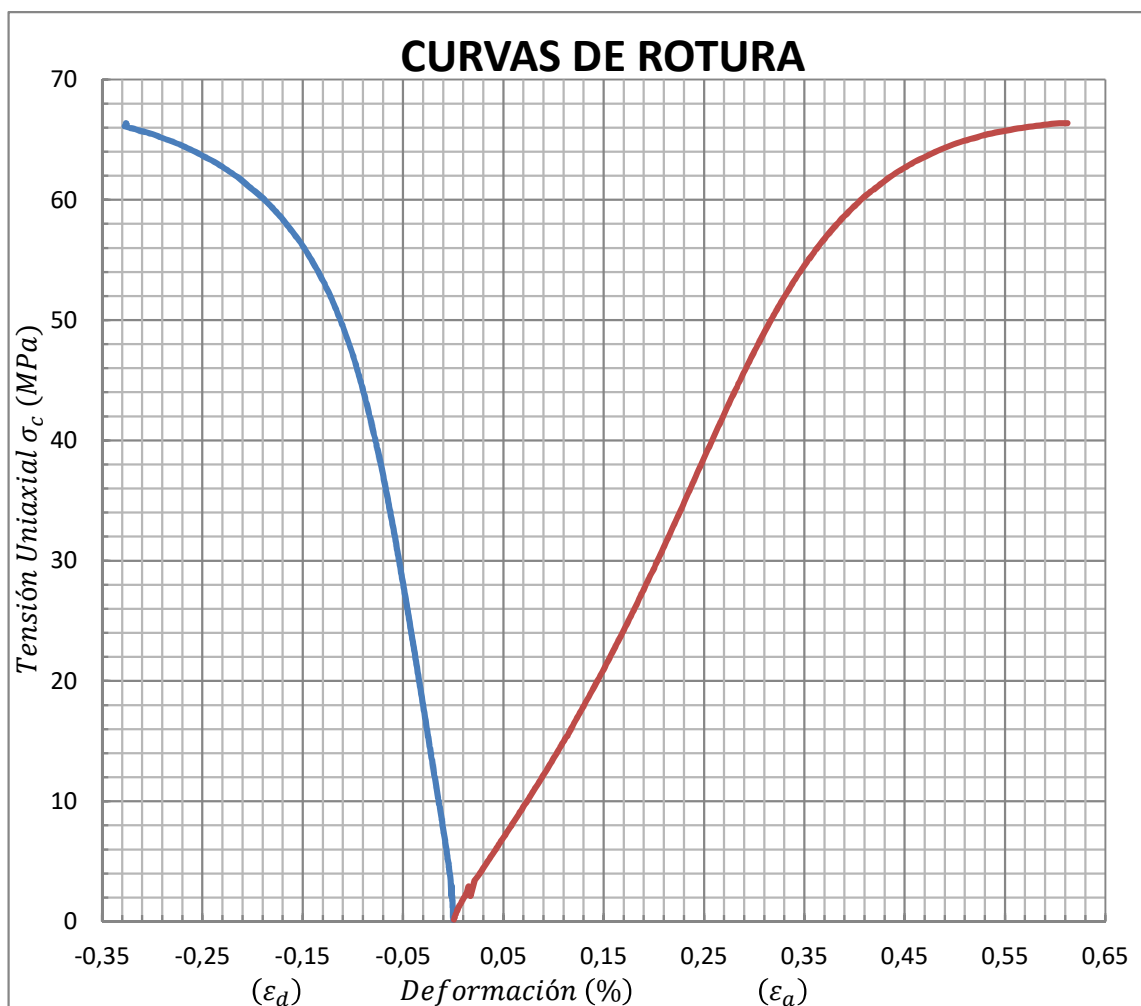
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>66,37</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,28
Coefficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



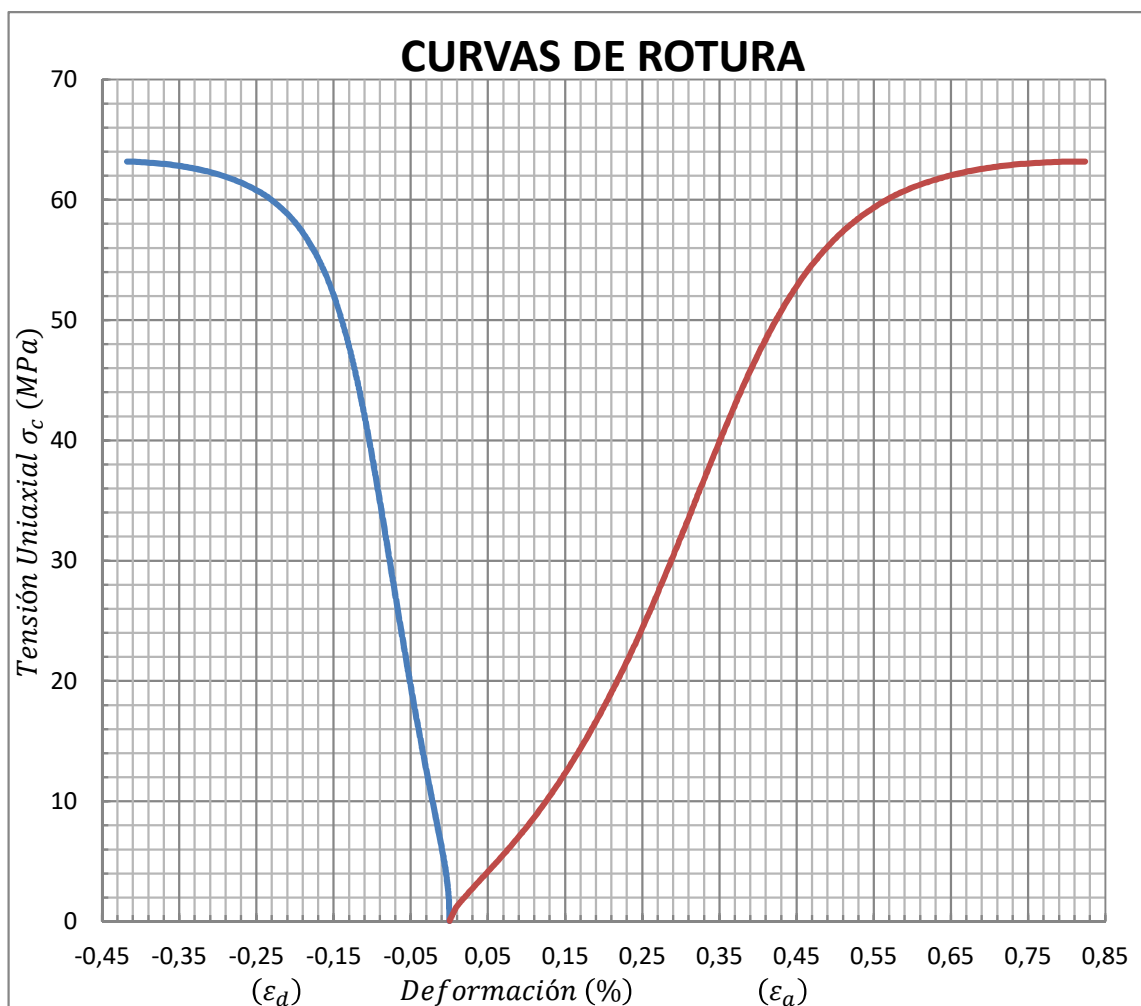
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>63,18</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	13,51
Coefficiente de Poisson	0,24
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



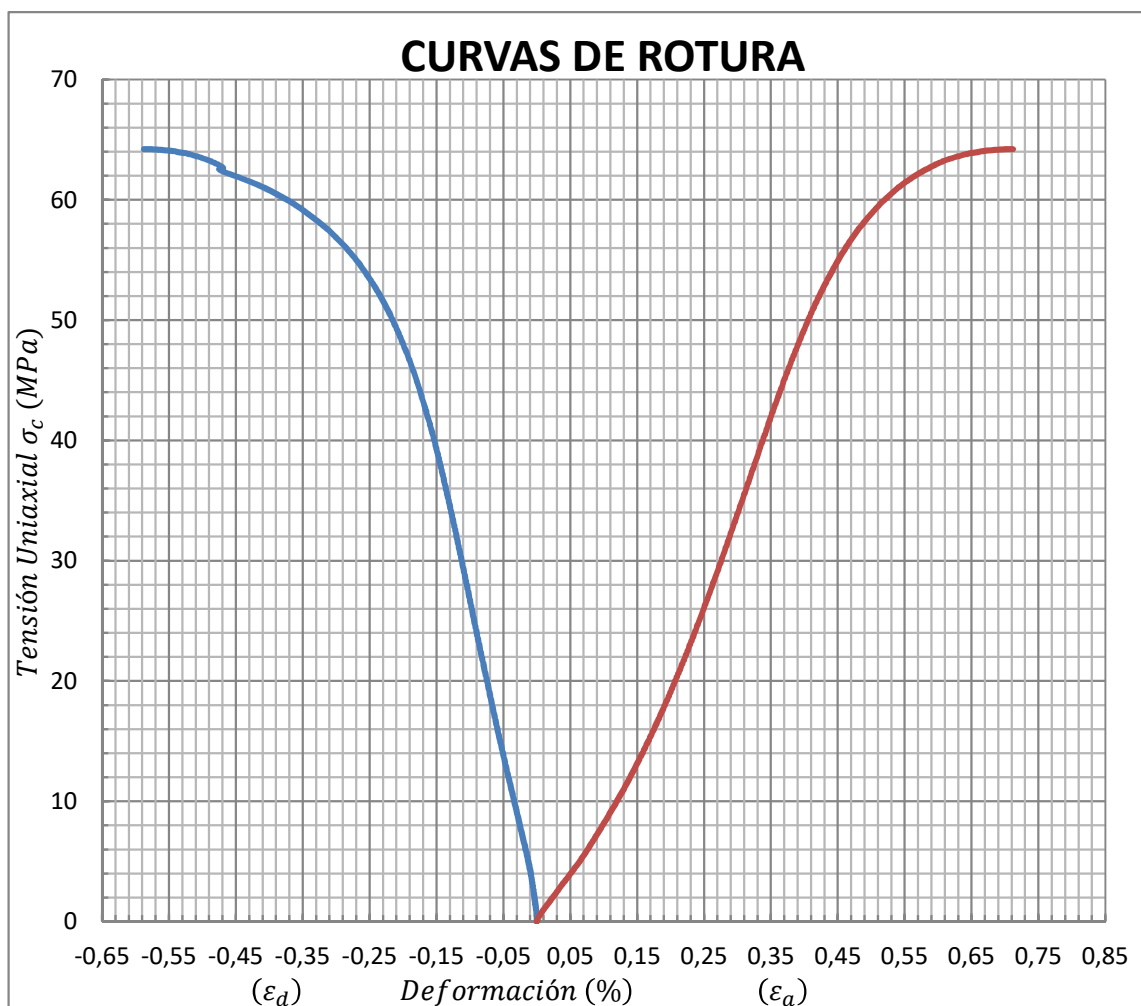
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Carrara4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>64,20</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	14,08
Coefficiente de Poisson	0,34
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



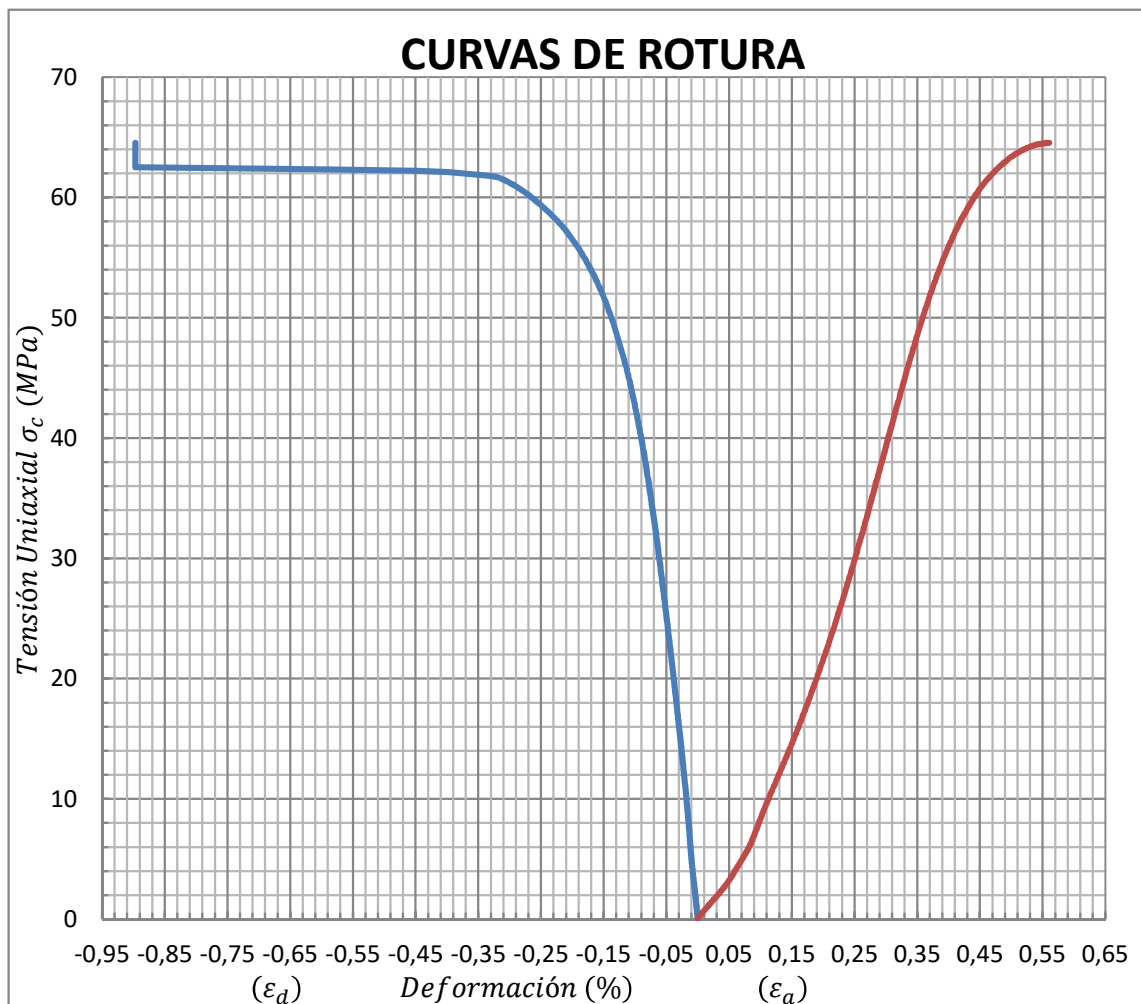
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>64,54</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	16,12
Coeficiente de Poisson	0,20
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



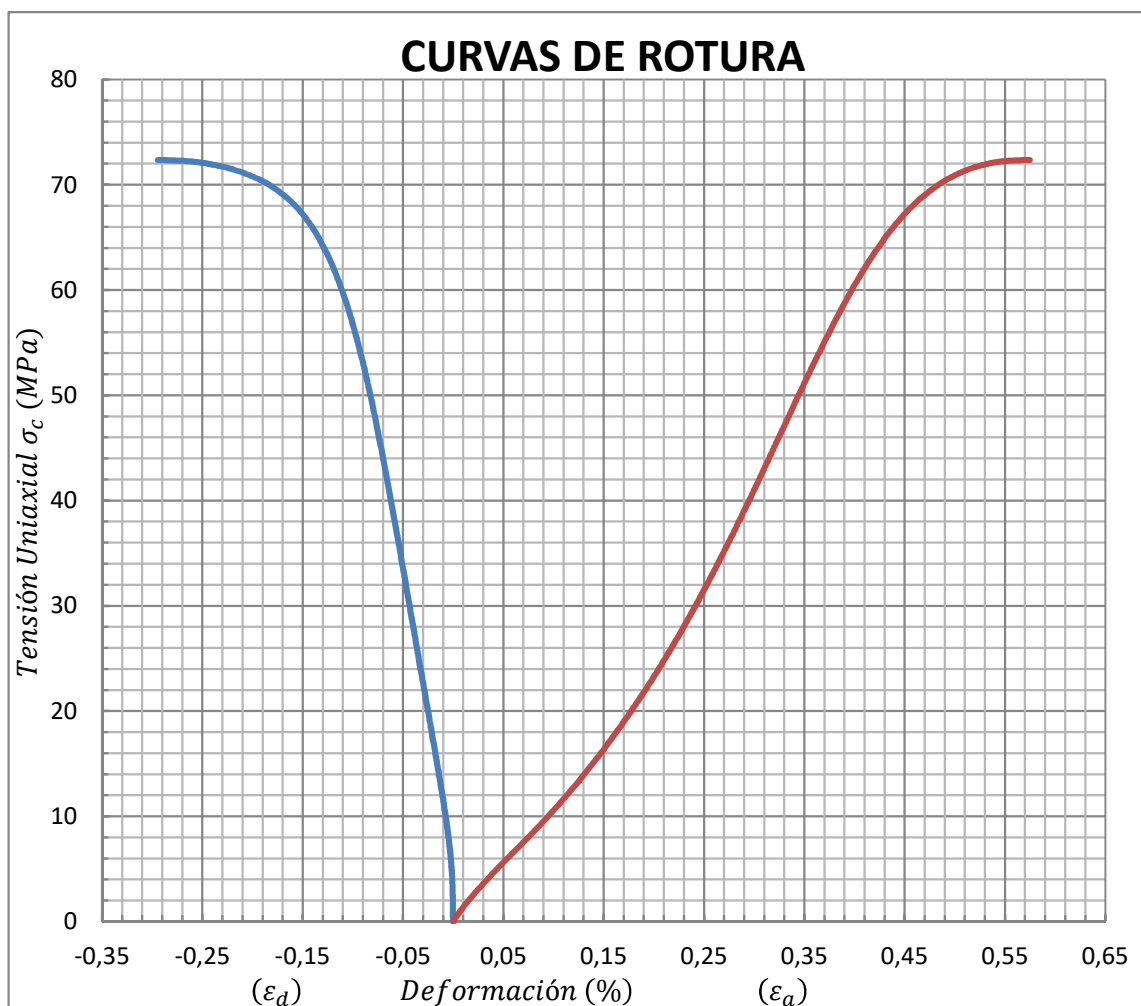
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

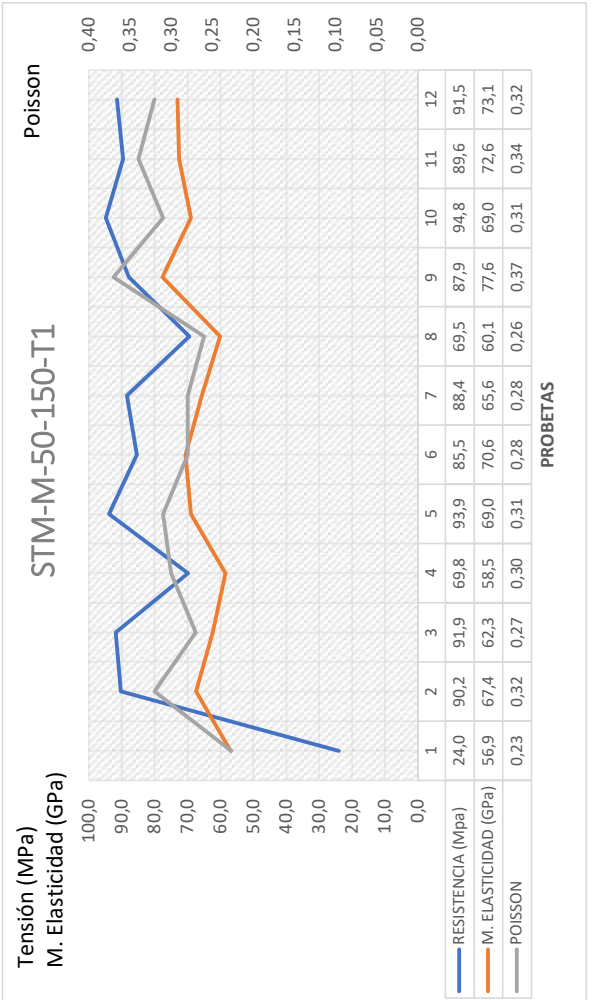
(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Carrara6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>72,34</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,40
Coefficiente de Poisson	0,14
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS						
MARMOL MACAEL		T1	23°C			
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)	M. YOUNG/RESITENCIA
1	0,23	56,9	24,0	0,0	56,9	
2	0,32	67,4	90,2	90,2	67,4	0,7
3	0,27	62,3	91,9	91,9	62,3	0,7
4	0,30	58,5	69,8	69,8	58,5	0,8
5	0,31	69,0	93,9	93,9	69,0	0,7
6	0,28	70,6	85,5	85,5	70,6	0,8
7	0,28	65,6	88,4	88,4	65,6	0,7
8	0,26	60,1	69,5	69,5	60,1	0,9
9	0,37	77,6	87,9	87,9	77,6	0,9
10	0,31	69,0	94,8	94,8	69,0	0,7
11	0,34	72,6	89,6	89,6	72,6	0,8
12	0,32	73,1	91,5	91,5	73,1	0,8
	0,30	66,9	81,4	79,4	66,9	0,8





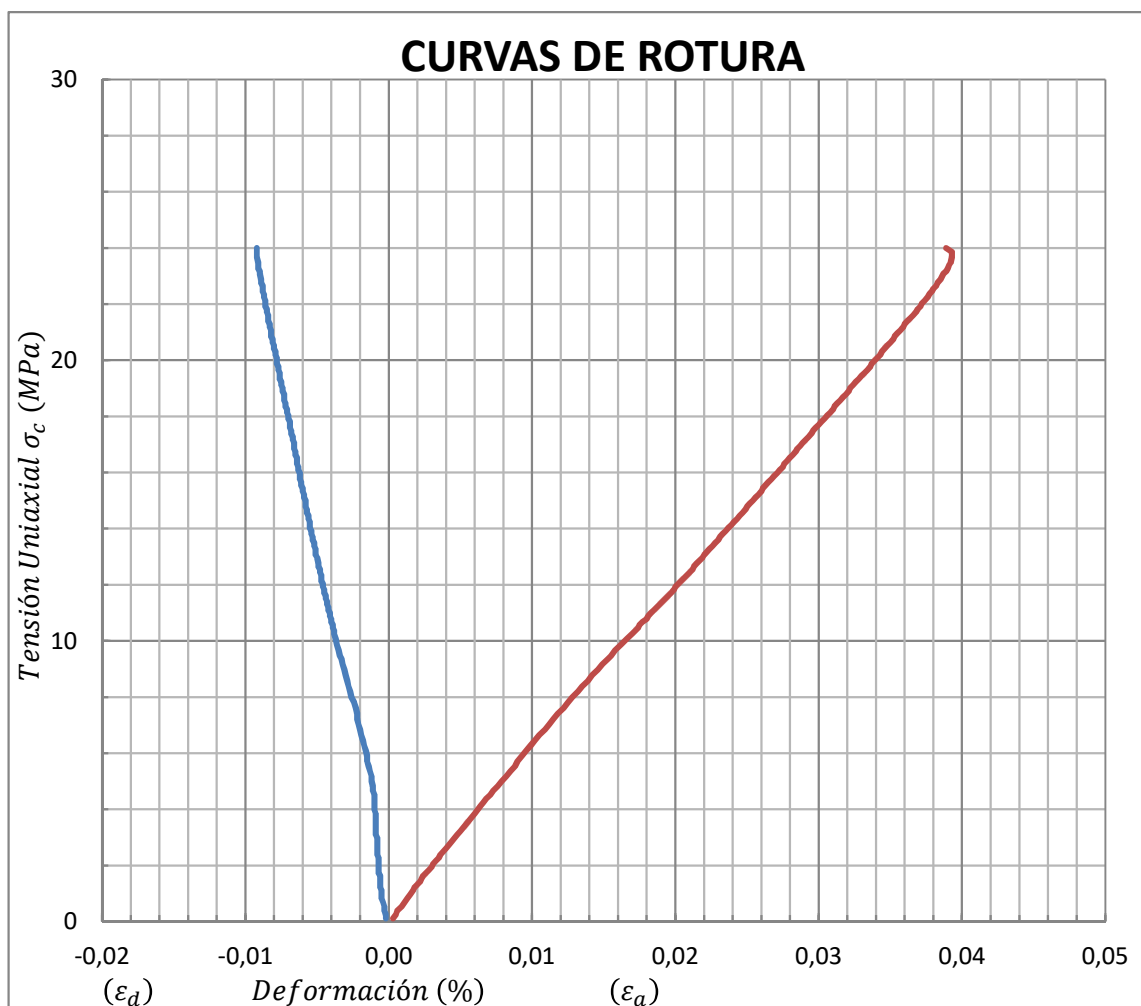
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael1**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>23,99</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	56,91
Coefficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



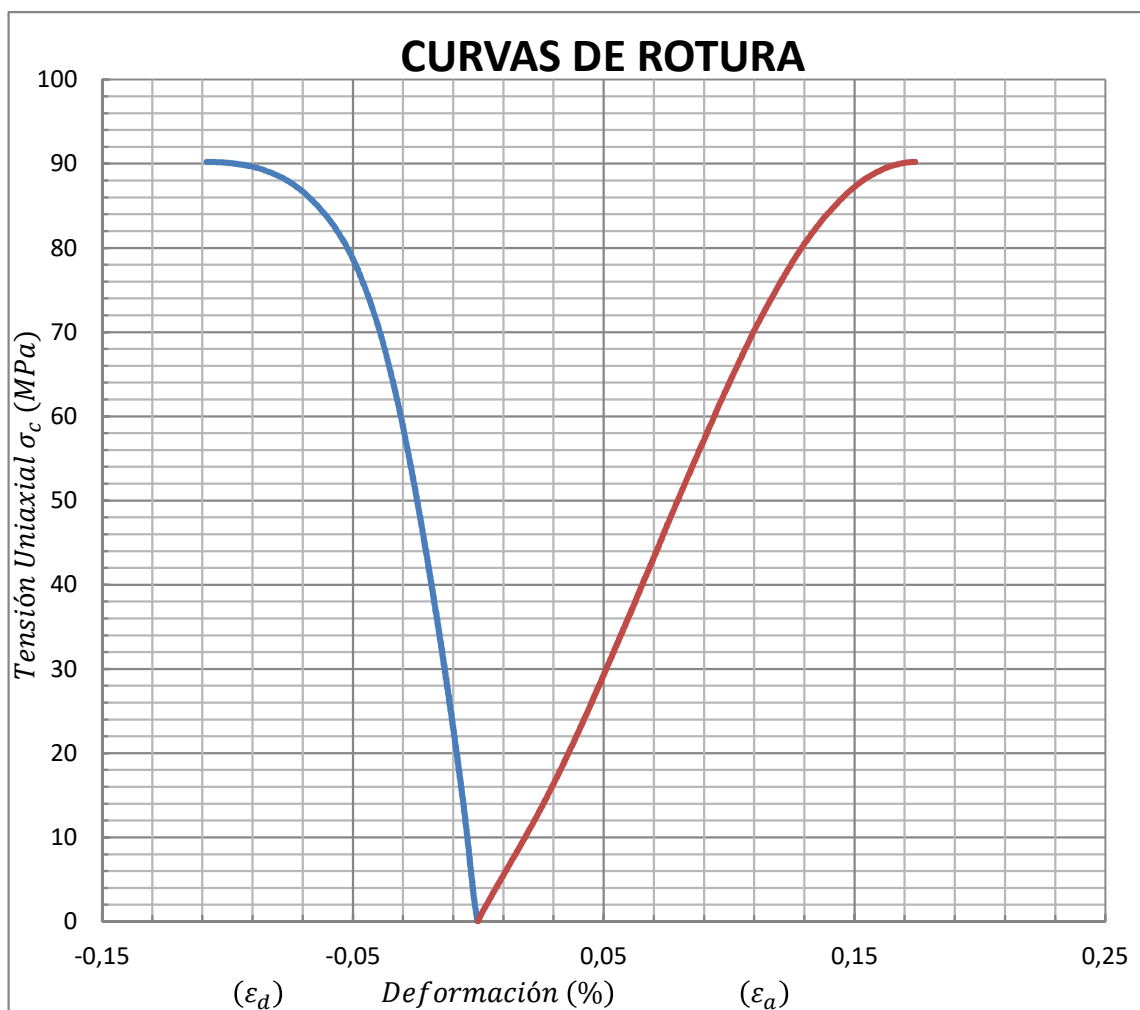
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael2**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>90,22</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	67,44
Coeficiente de Poisson	0,32
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



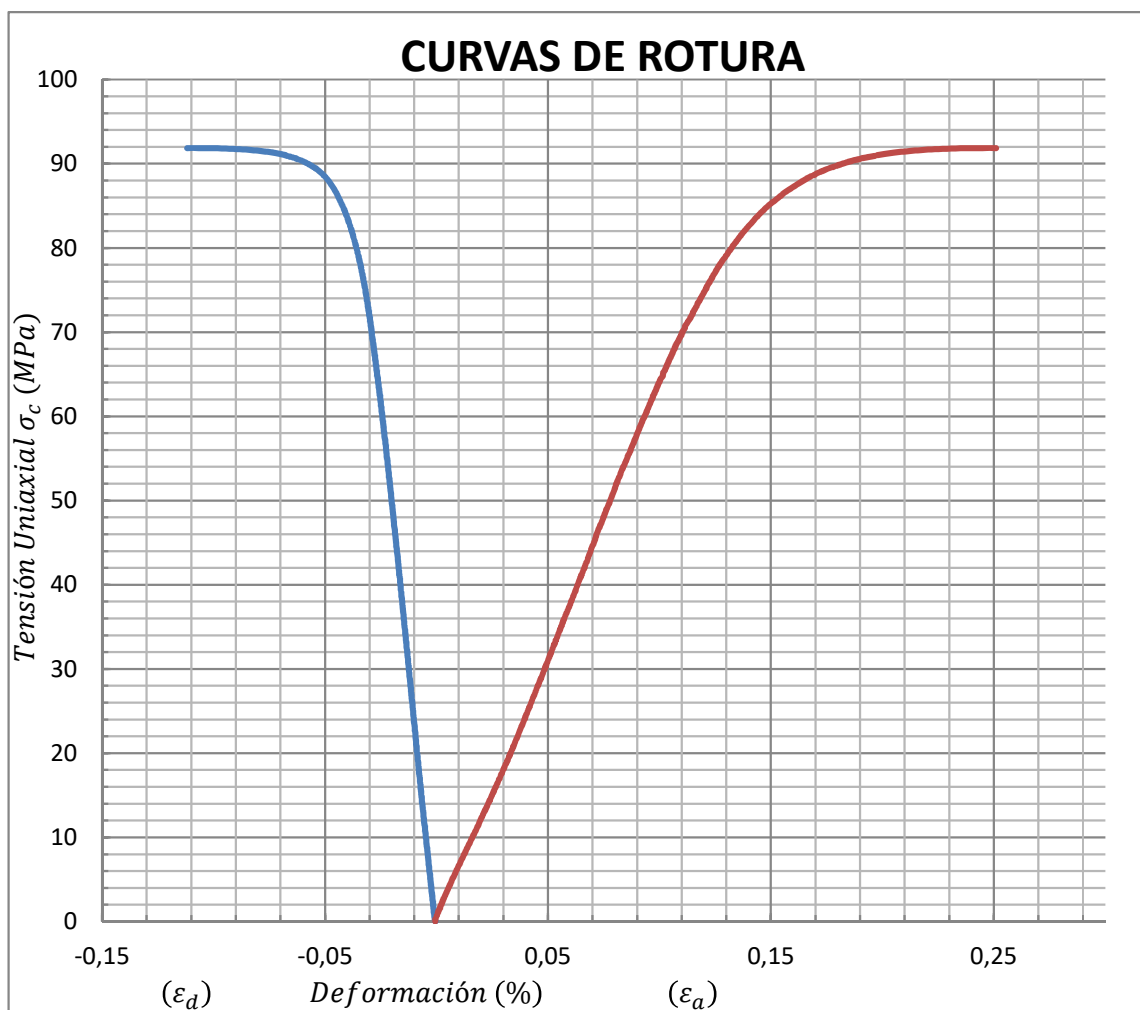
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>91,86</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	62,34
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



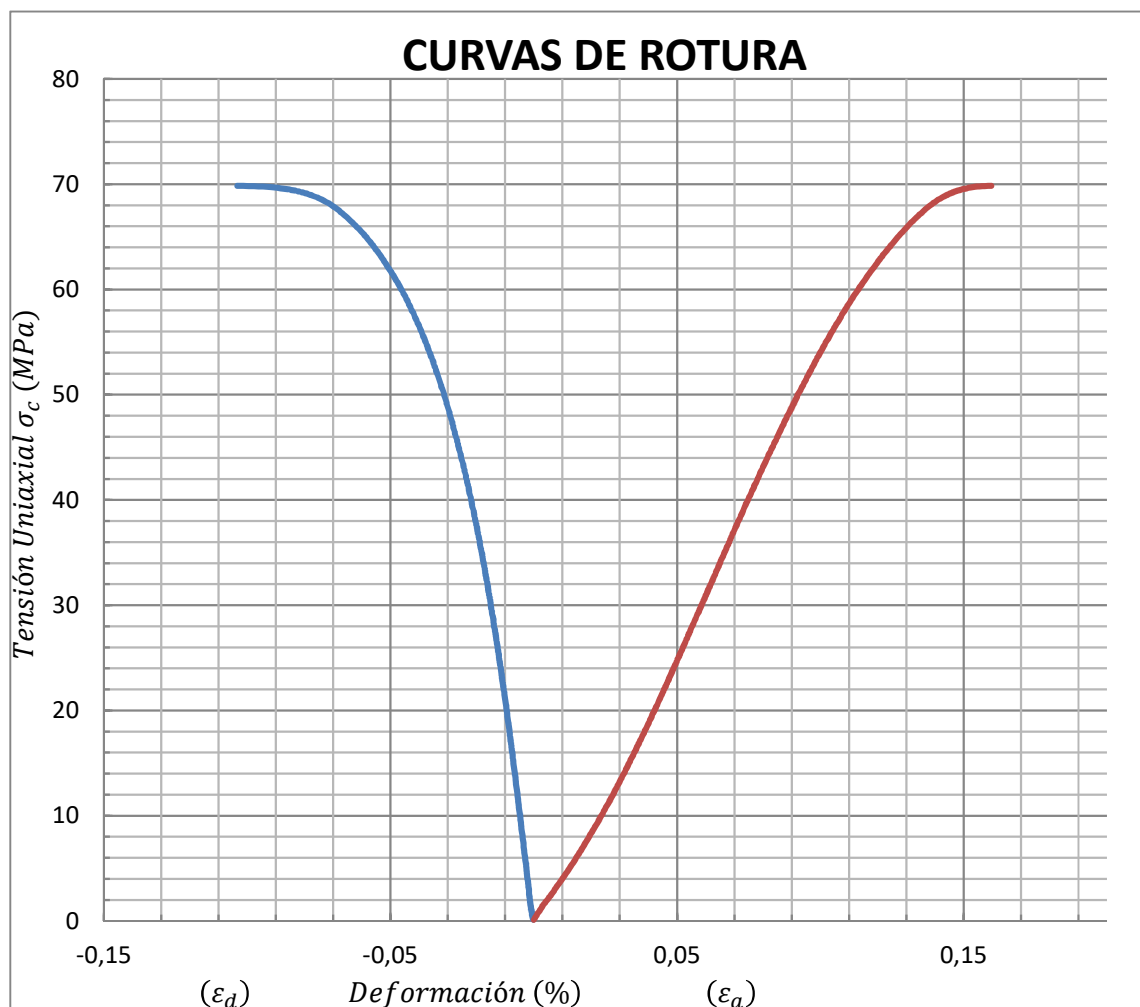
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>69,84</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	58,45
Coefficiente de Poisson	0,30
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



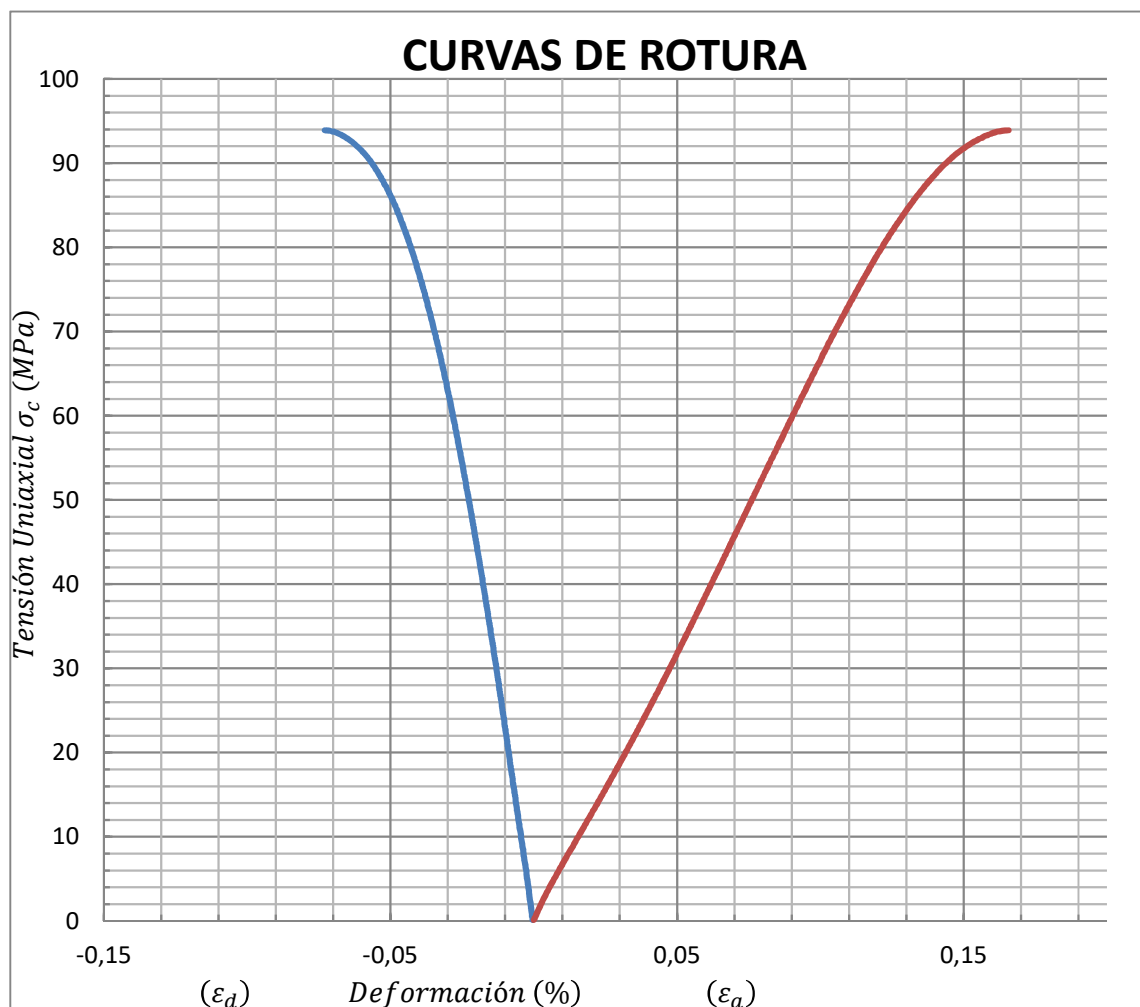
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>93,90</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	69,01
Coefficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



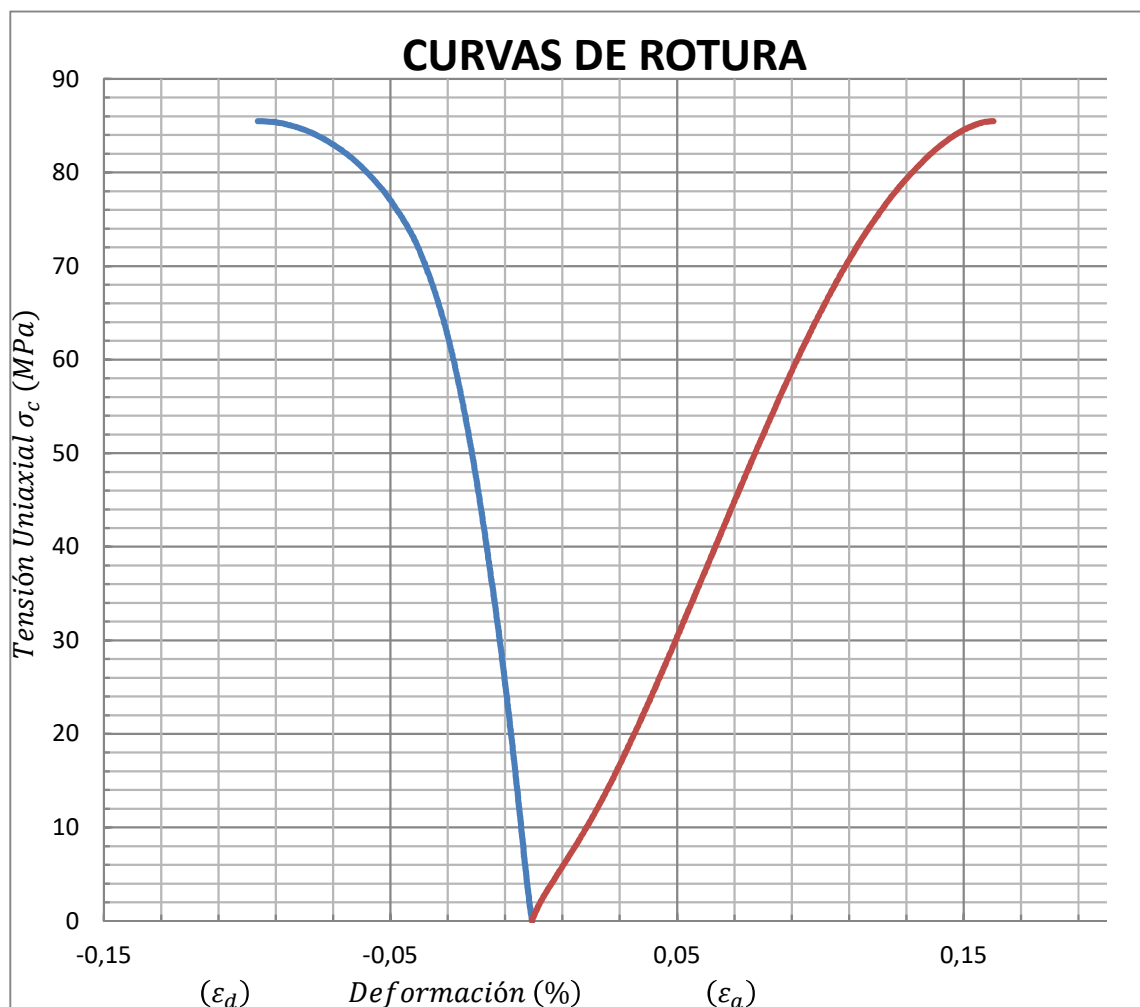
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>85,47</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	70,57
Coefficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



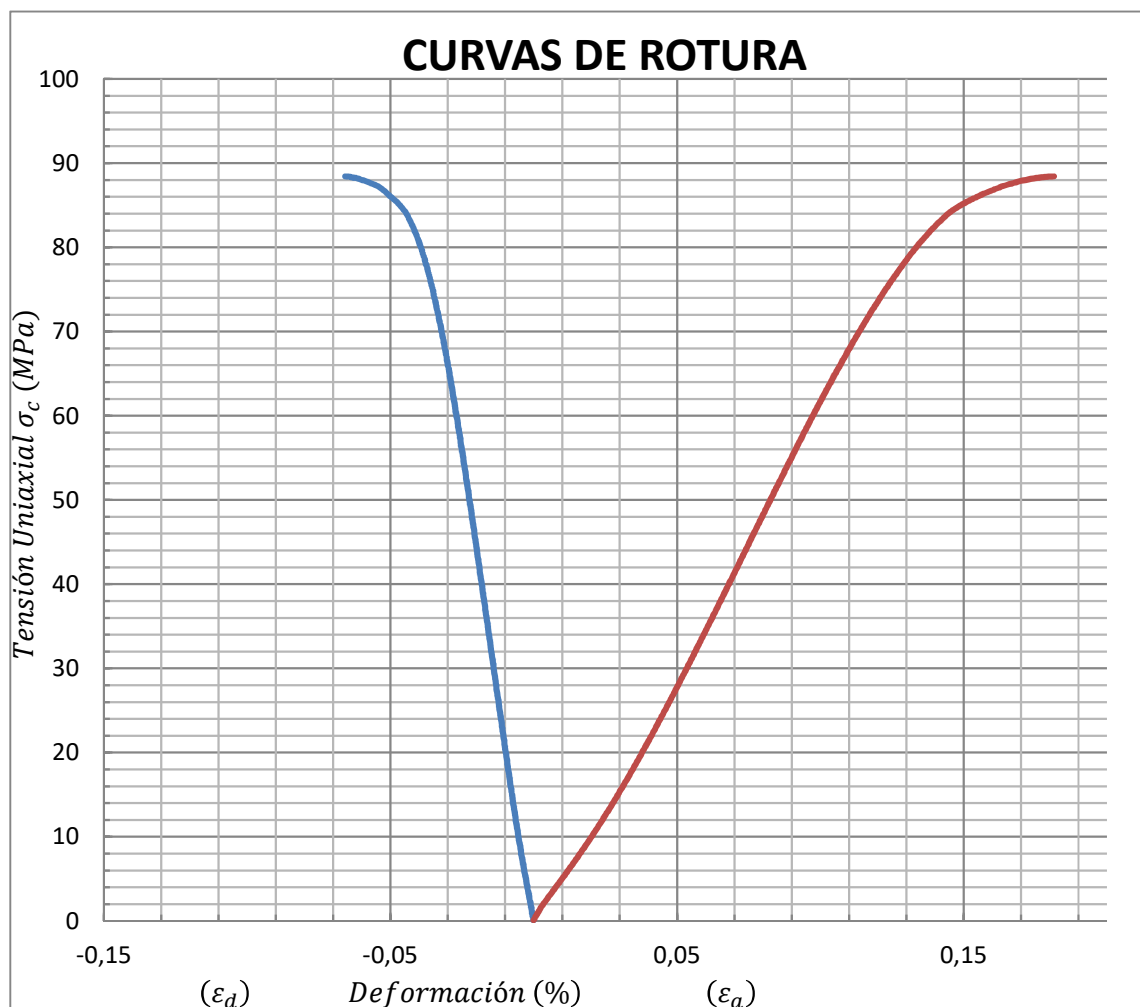
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael7**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>88,42</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	65,64
Coefficiente de Poisson	0,28
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



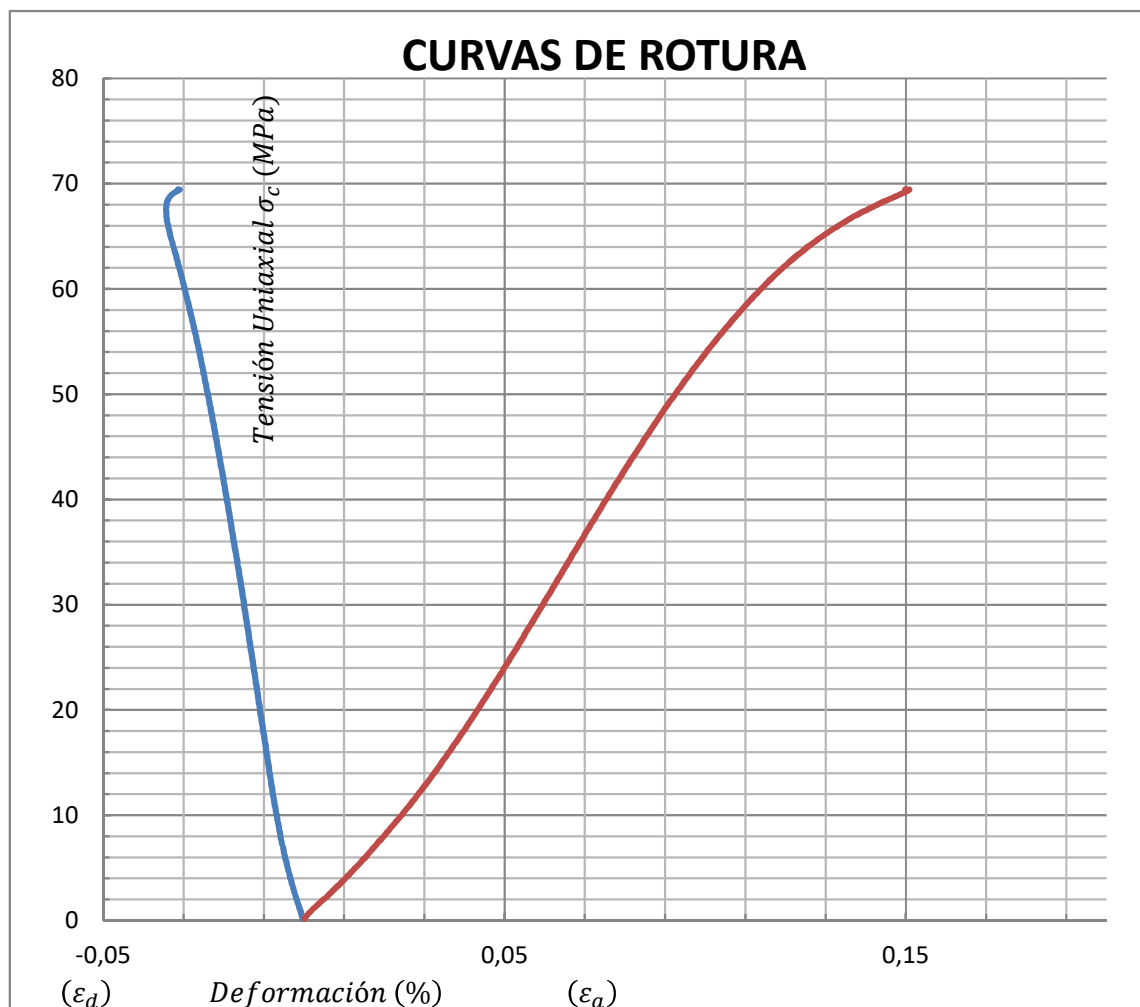
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael8

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>69,46</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	60,14
Coefficiente de Poisson	0,26
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





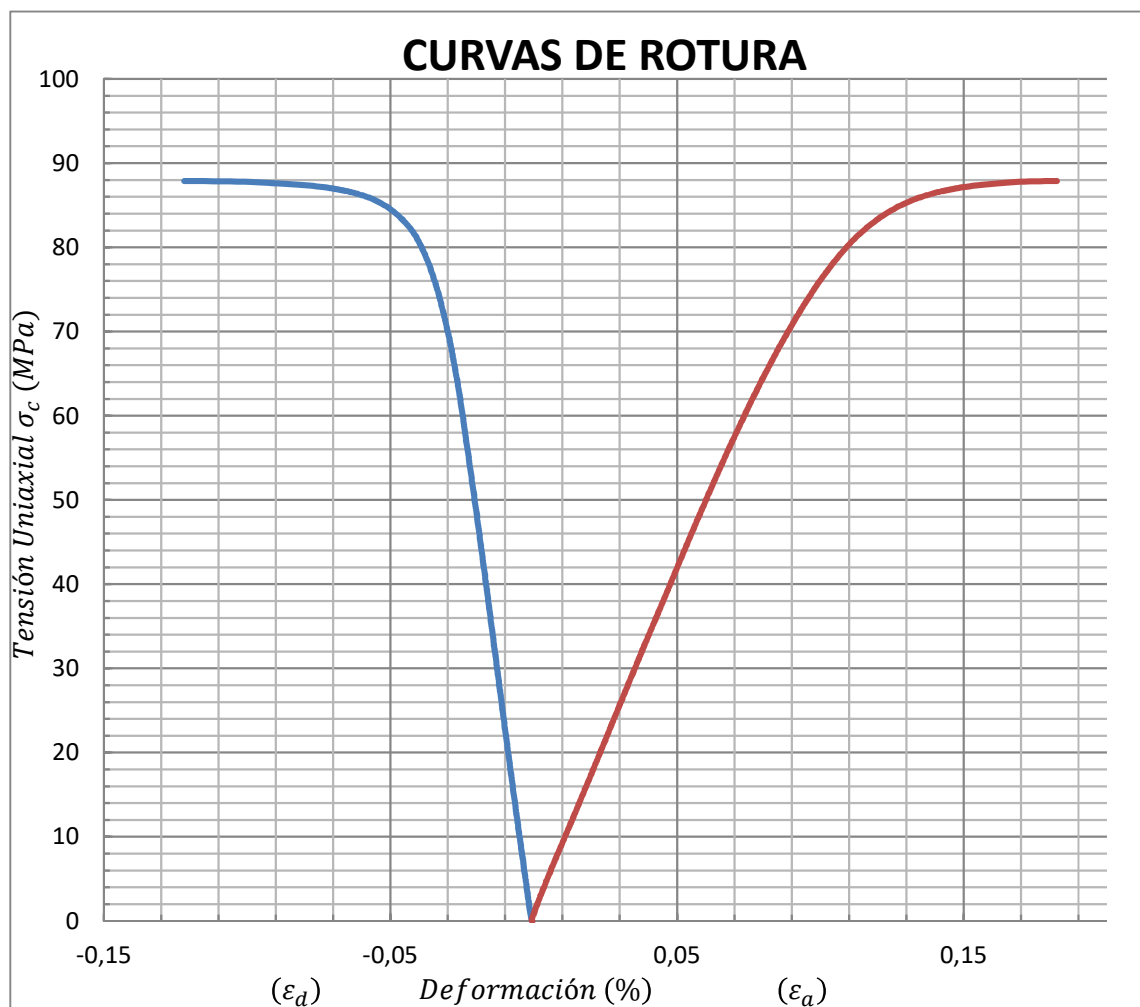
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael9**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>87,86</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	77,62
Coefficiente de Poisson	0,37
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



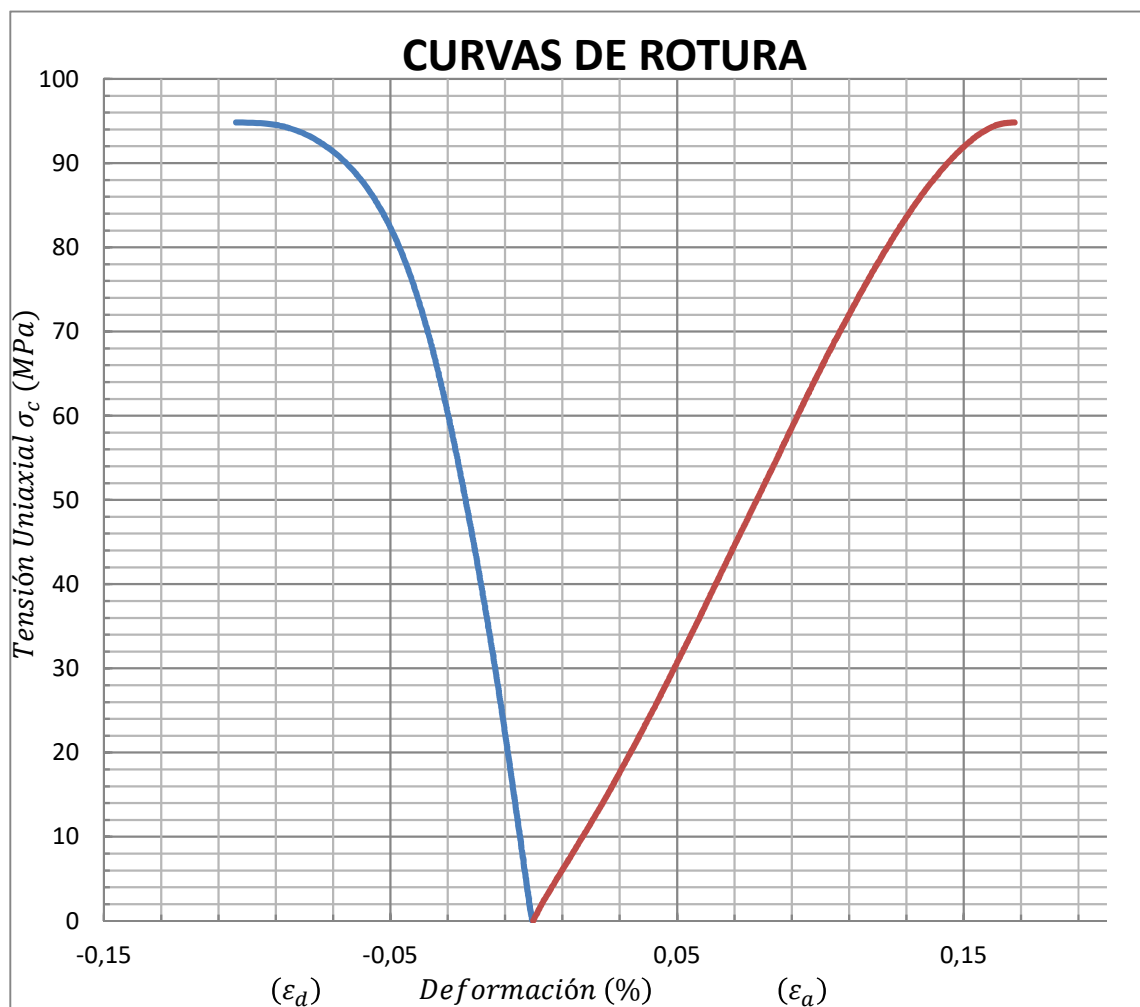
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael10

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>94,83</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	69,04
Coefficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



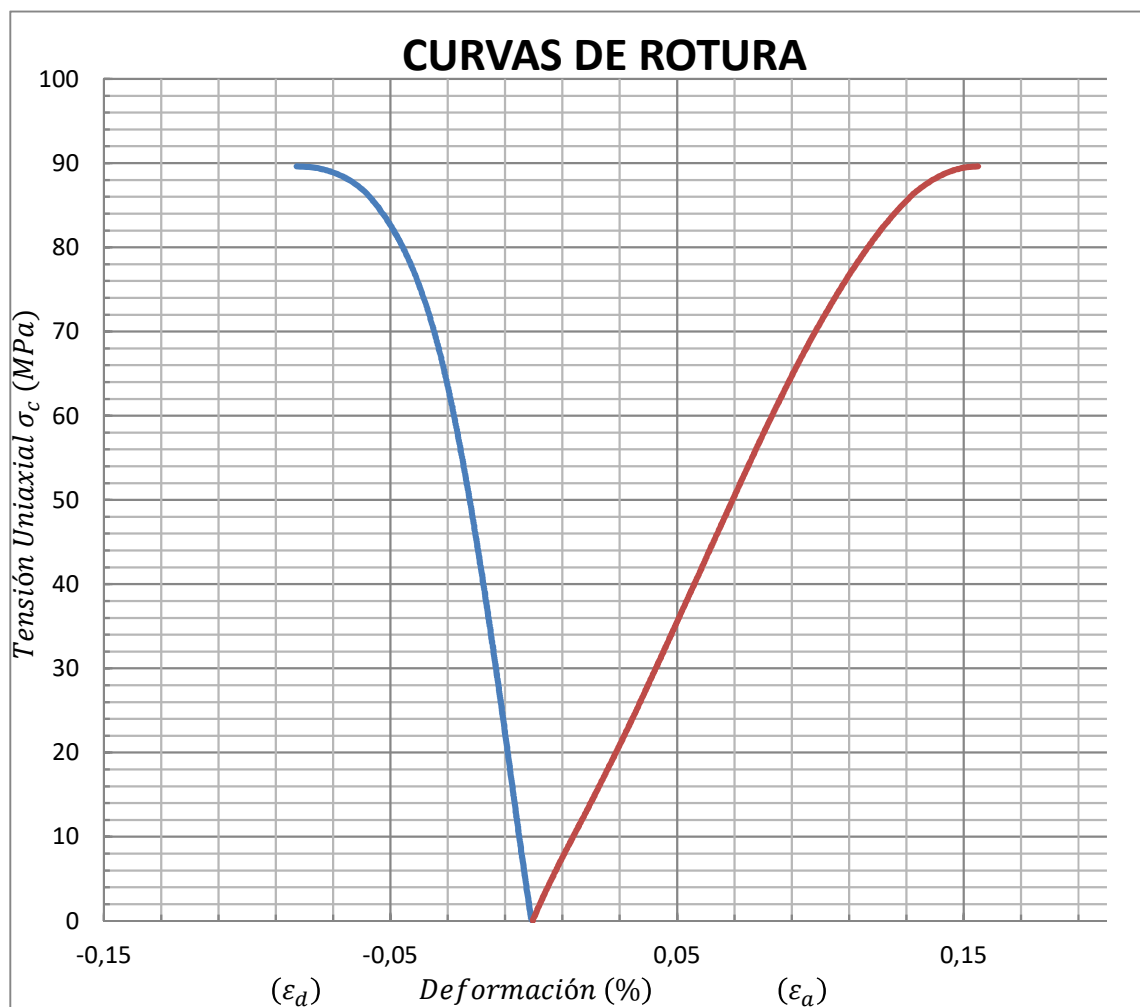
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael11**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>89,61</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	72,58
Coefficiente de Poisson	0,34
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00



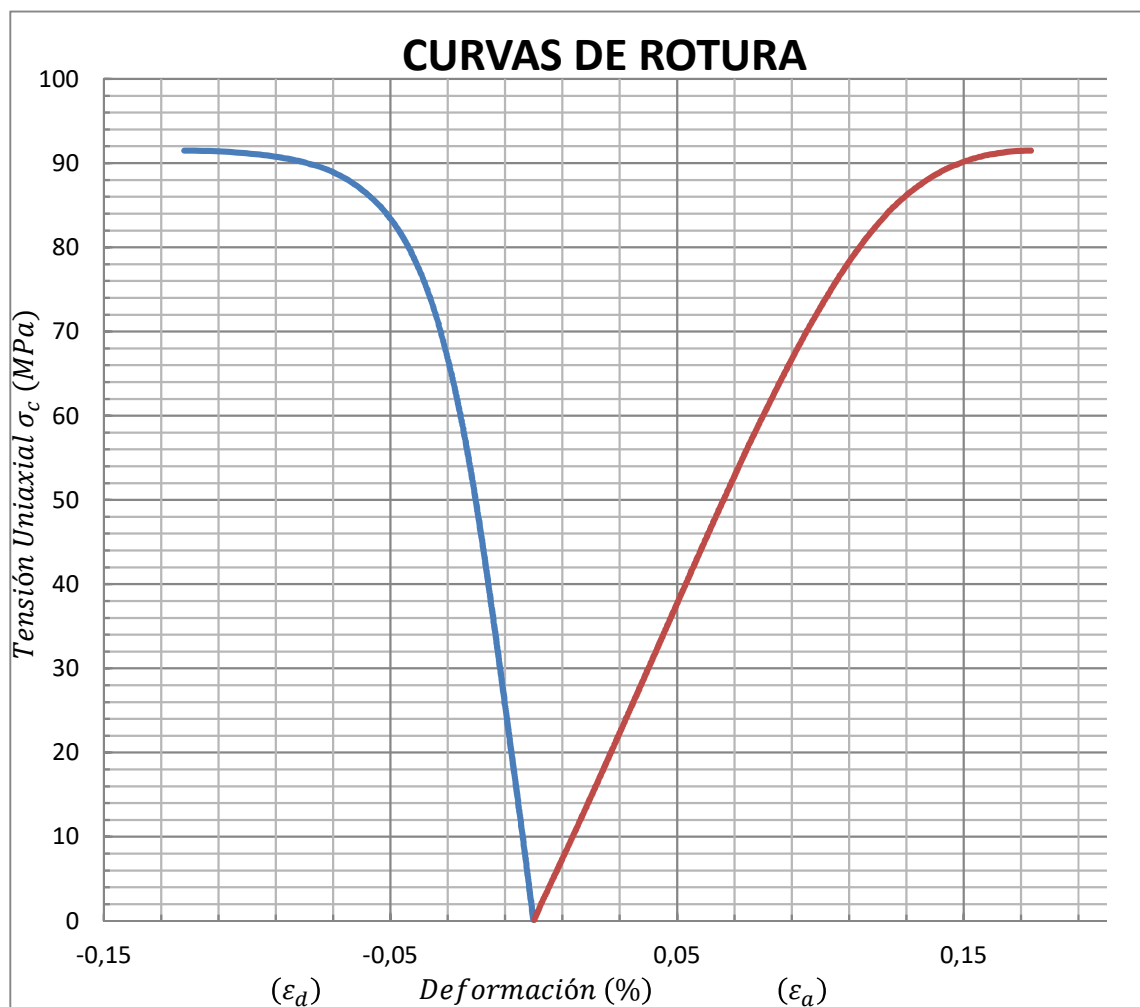
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael12

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>91,47</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	73,10
Coefficiente de Poisson	0,32
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	23,00





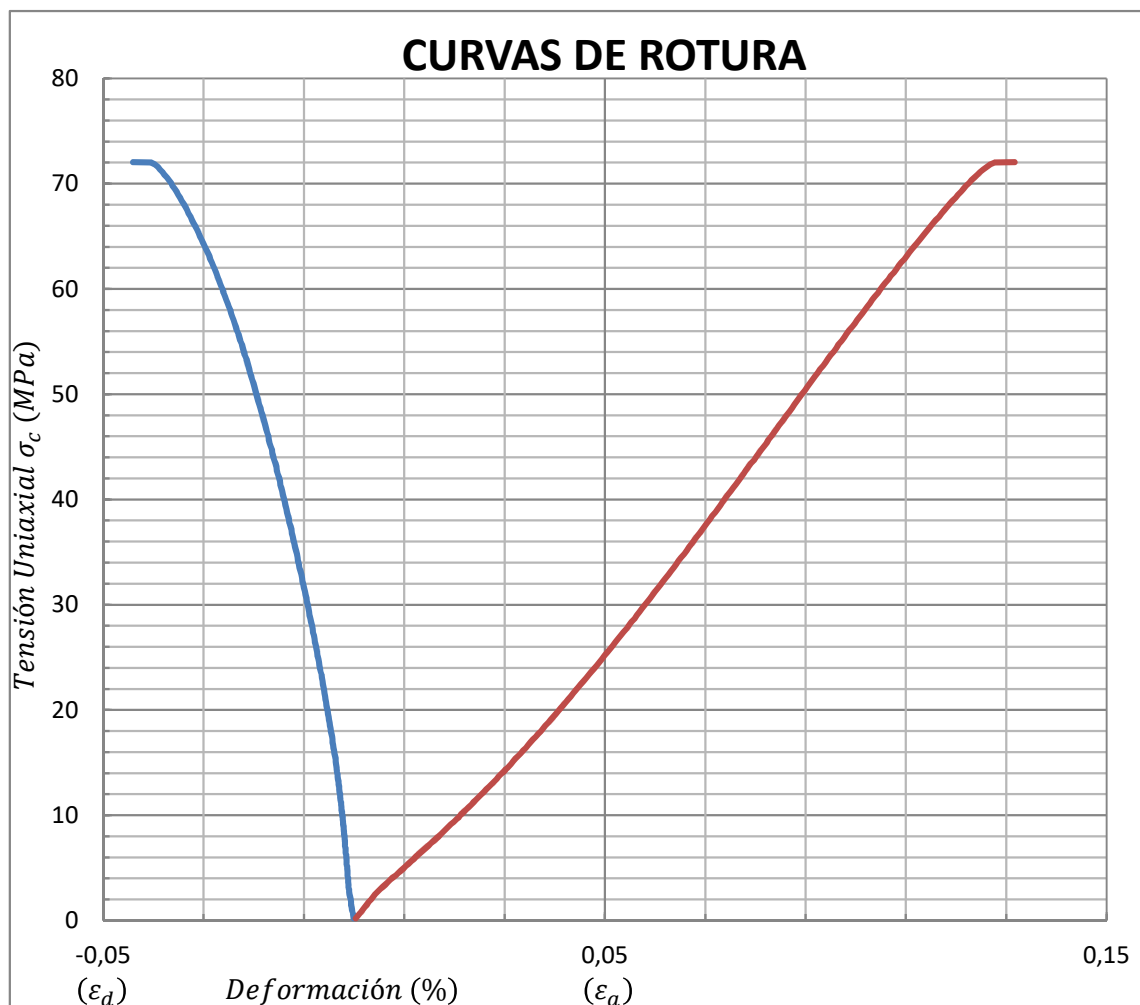
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>72,03</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	60,54
Coefficiente de Poisson	0,18
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



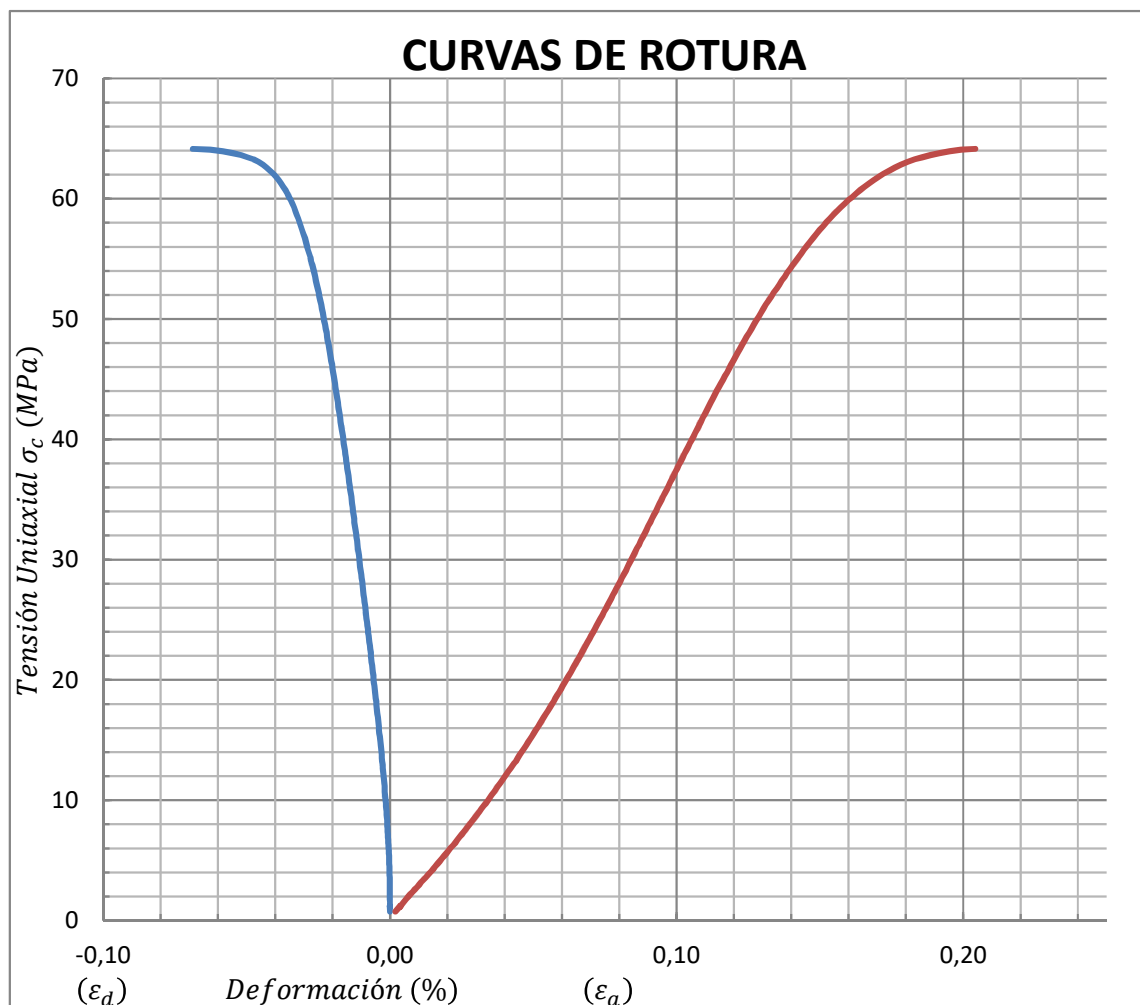
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>64,14</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	43,70
Coefficiente de Poisson	0,12
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



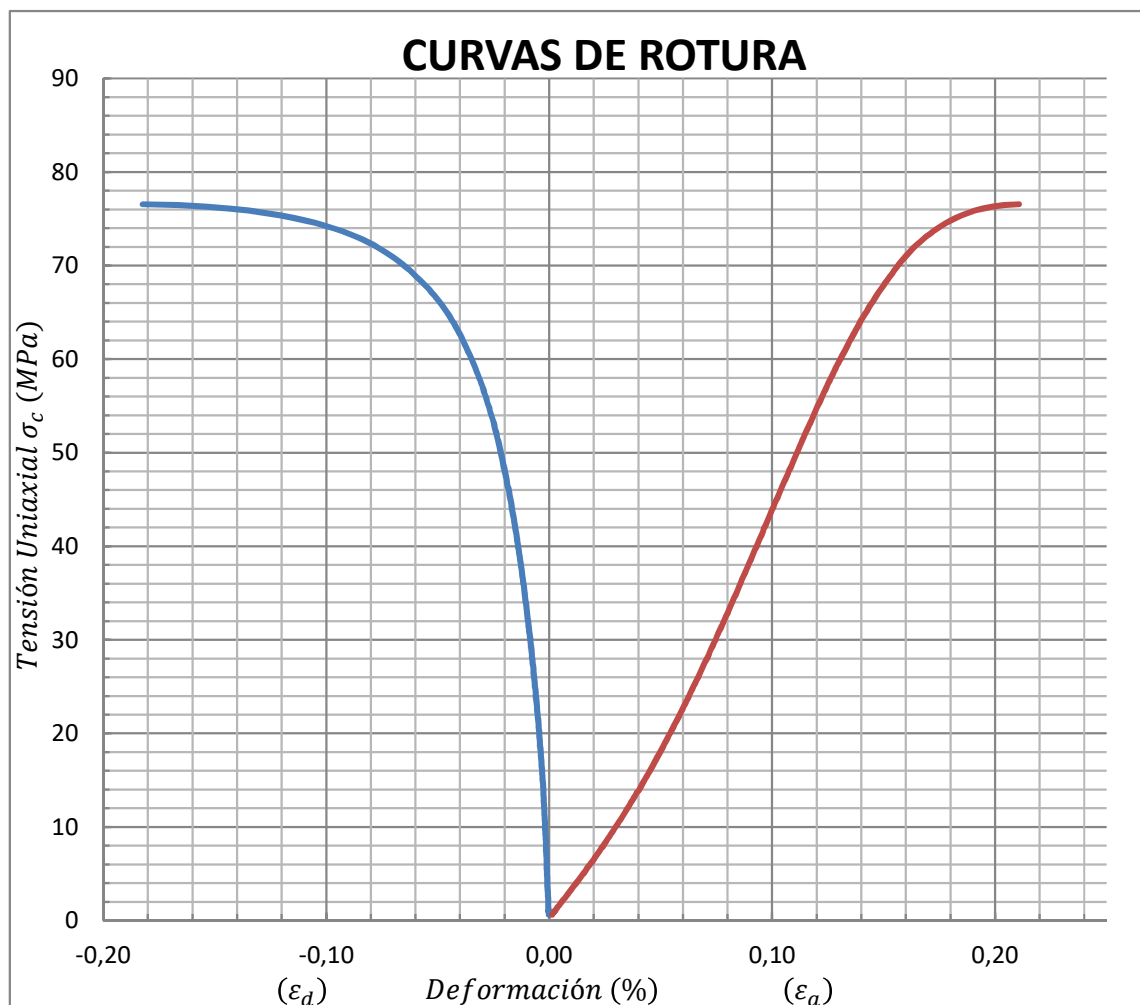
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael3

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>76,55</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	51,43
Coefficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00





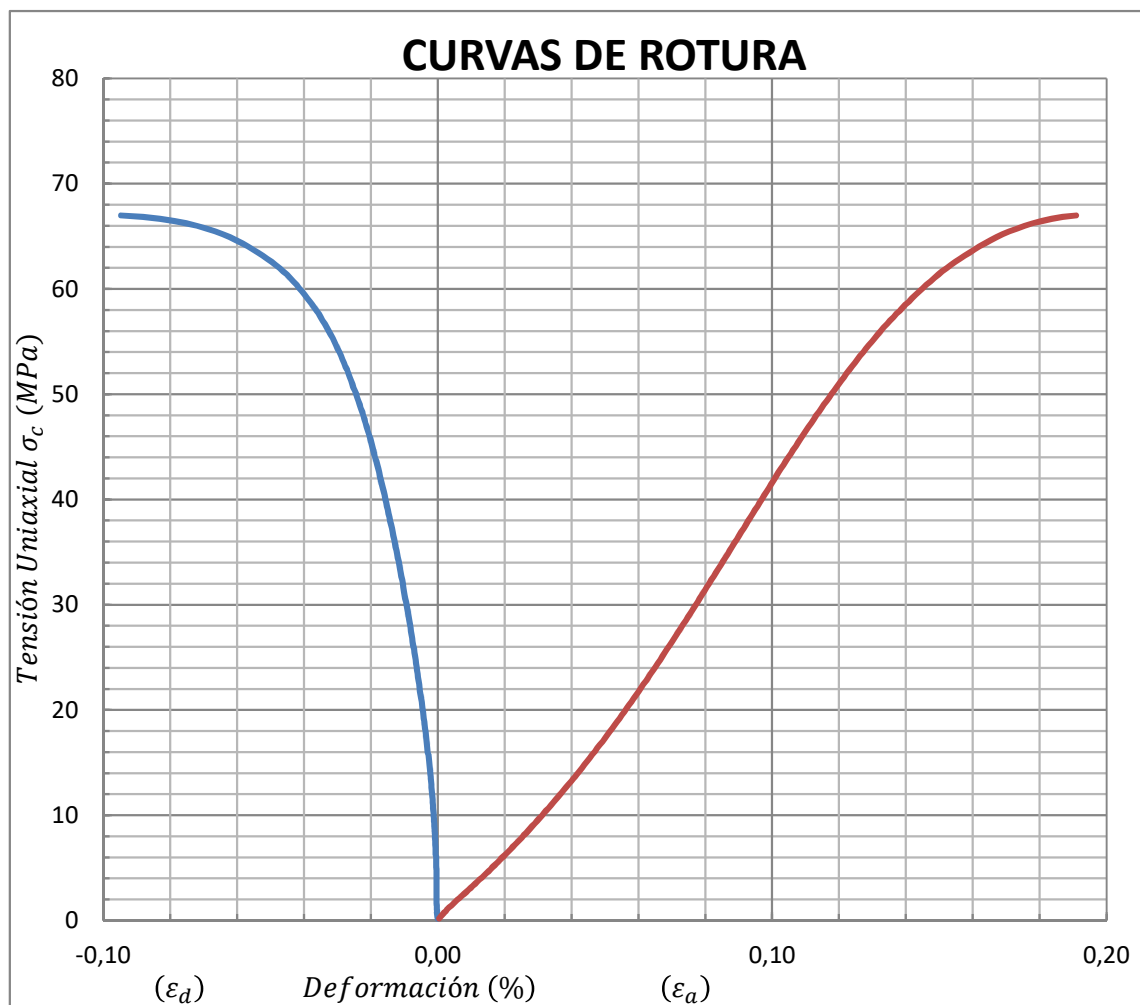
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>66,98</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	46,70
Coefficiente de Poisson	0,13
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



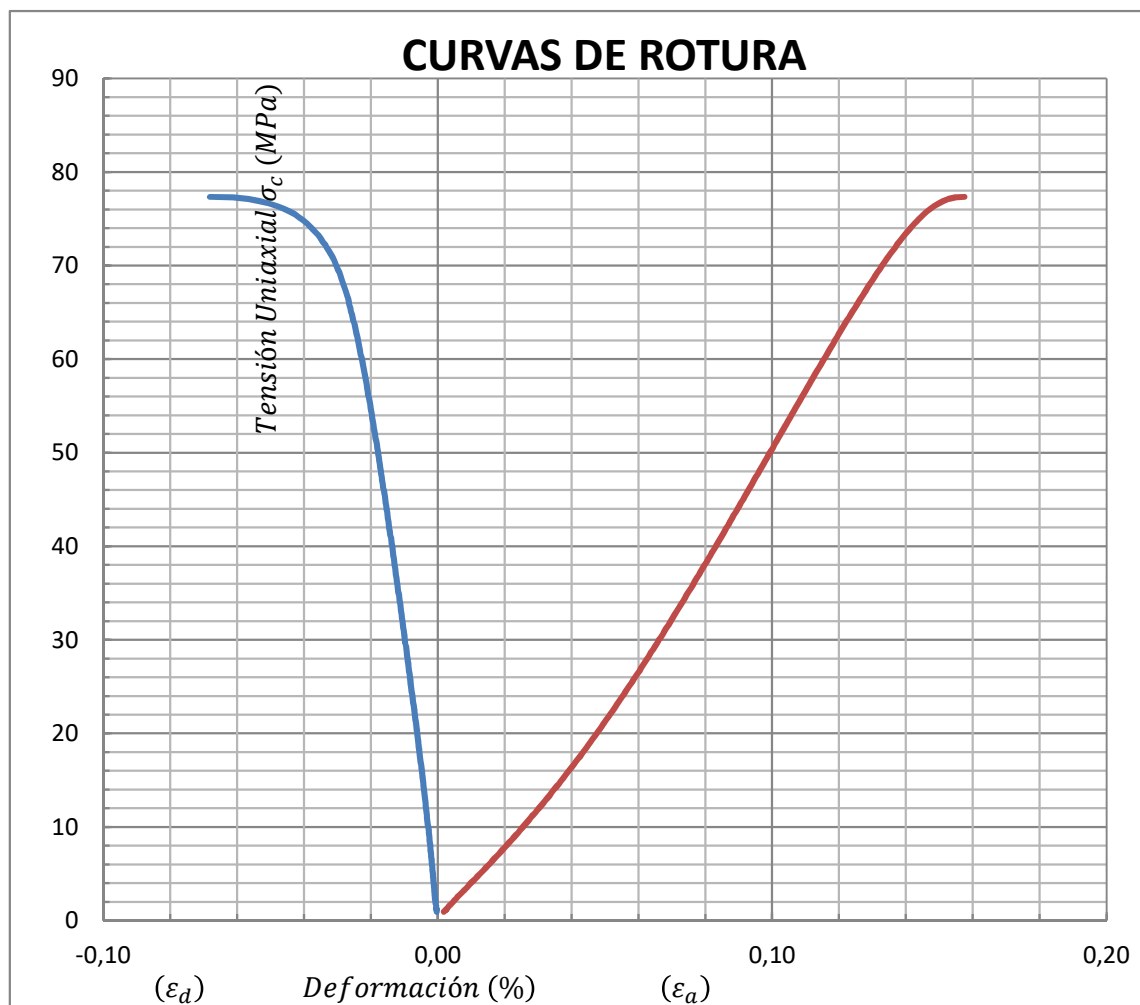
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>77,34</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	56,97
Coefficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00



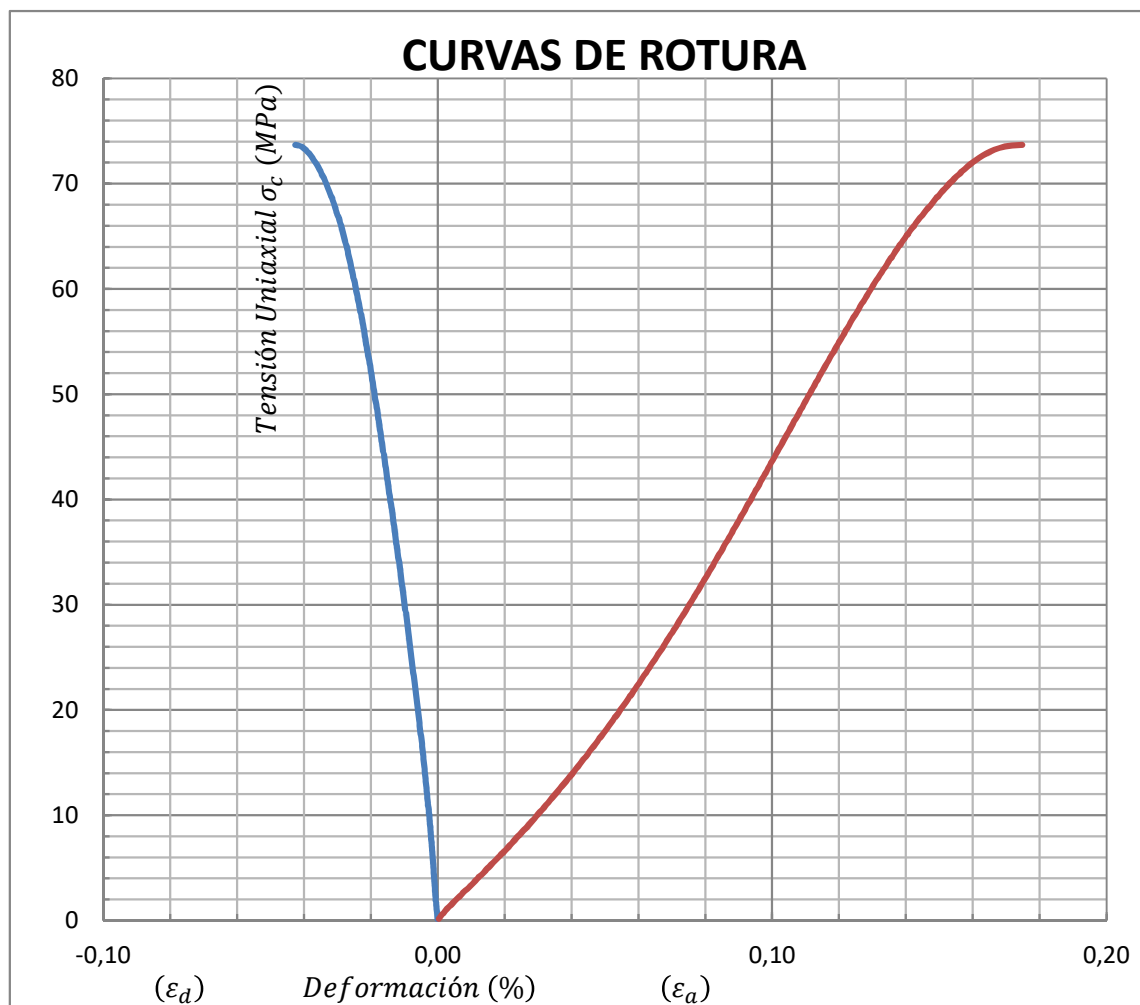
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>73,68</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	52,01
Coefficiente de Poisson	0,14
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	70,00





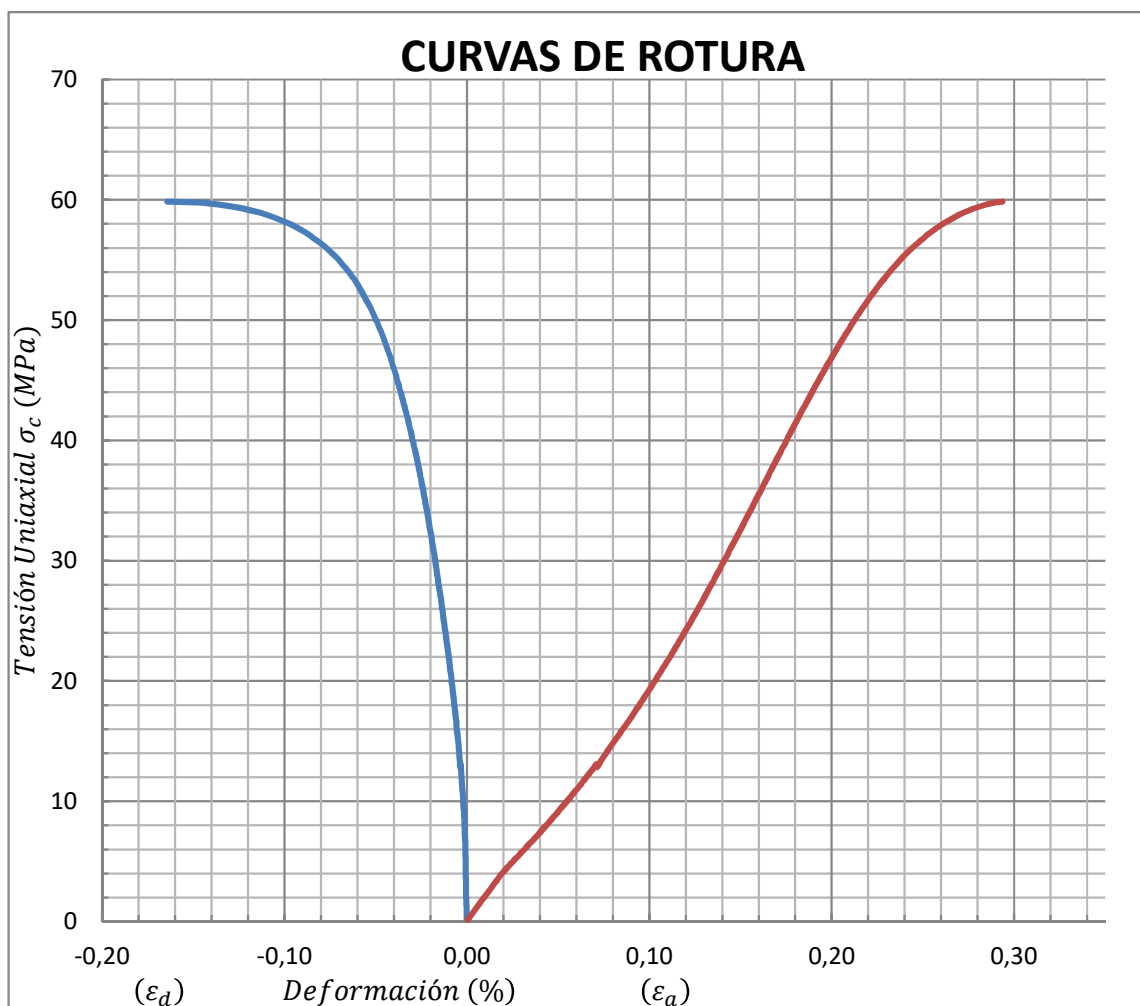
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>59,85</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	25,86
Coefficiente de Poisson	0,12
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



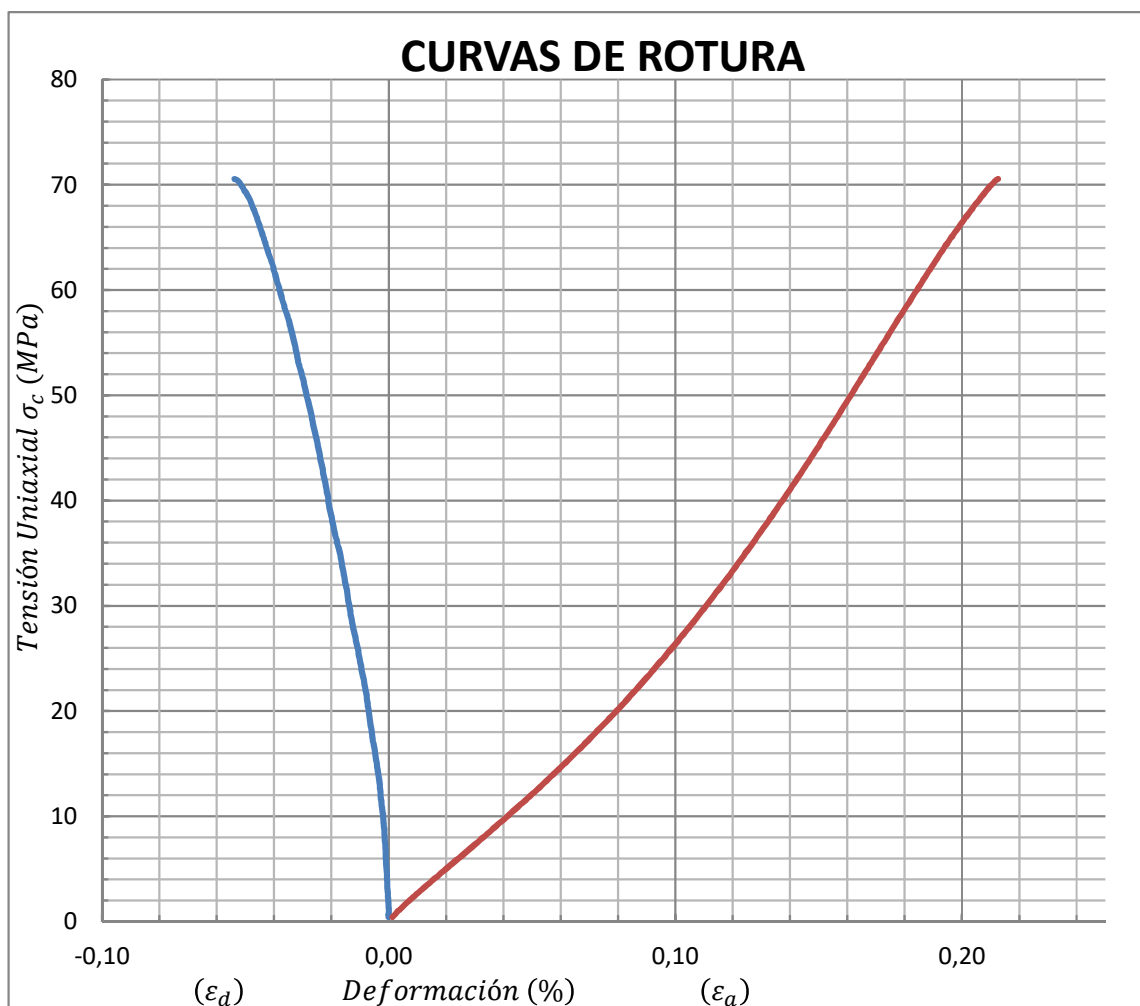
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>70,55</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	35,09
Coeficiente de Poisson	0,13
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



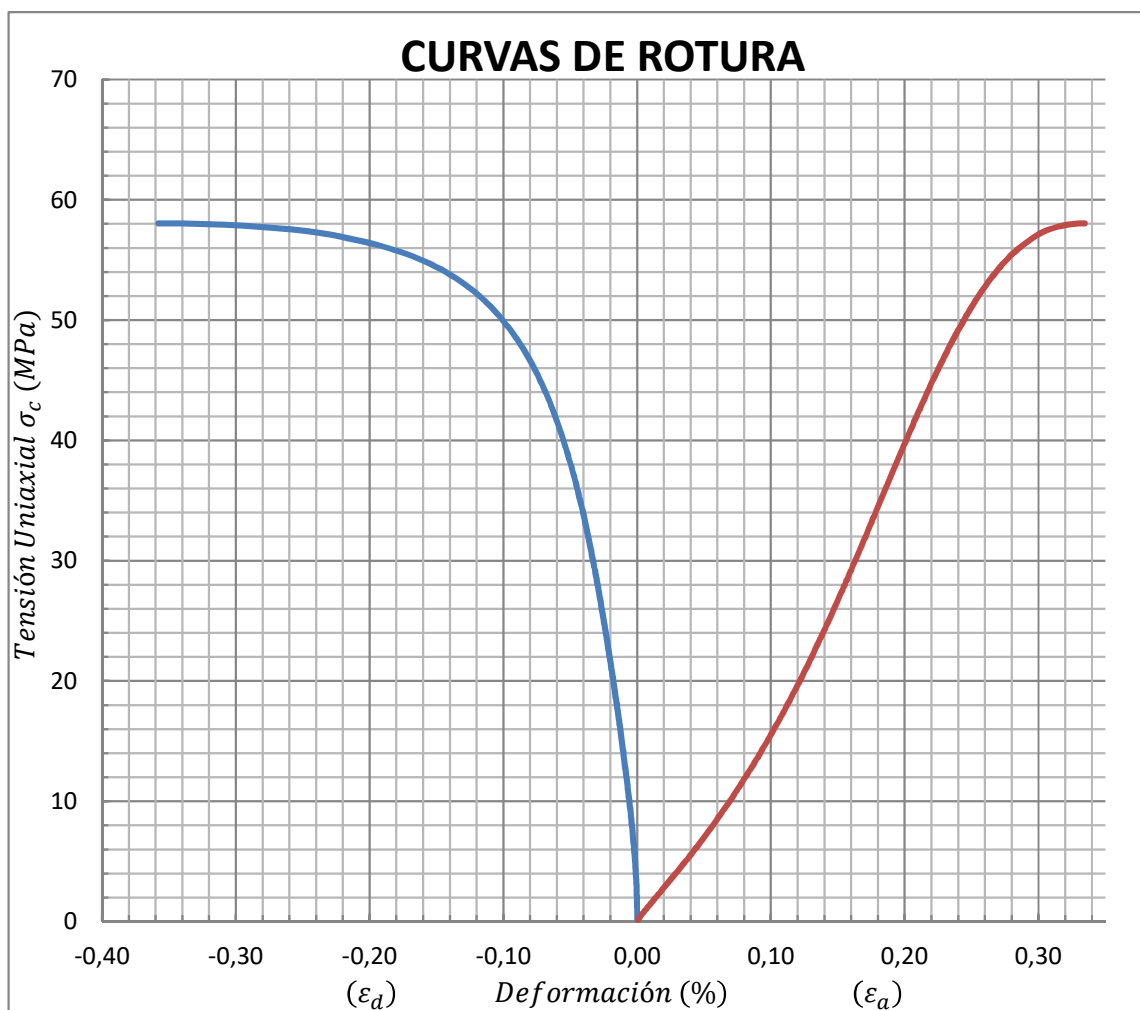
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>58,04</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	23,36
Coefficiente de Poisson	0,20
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



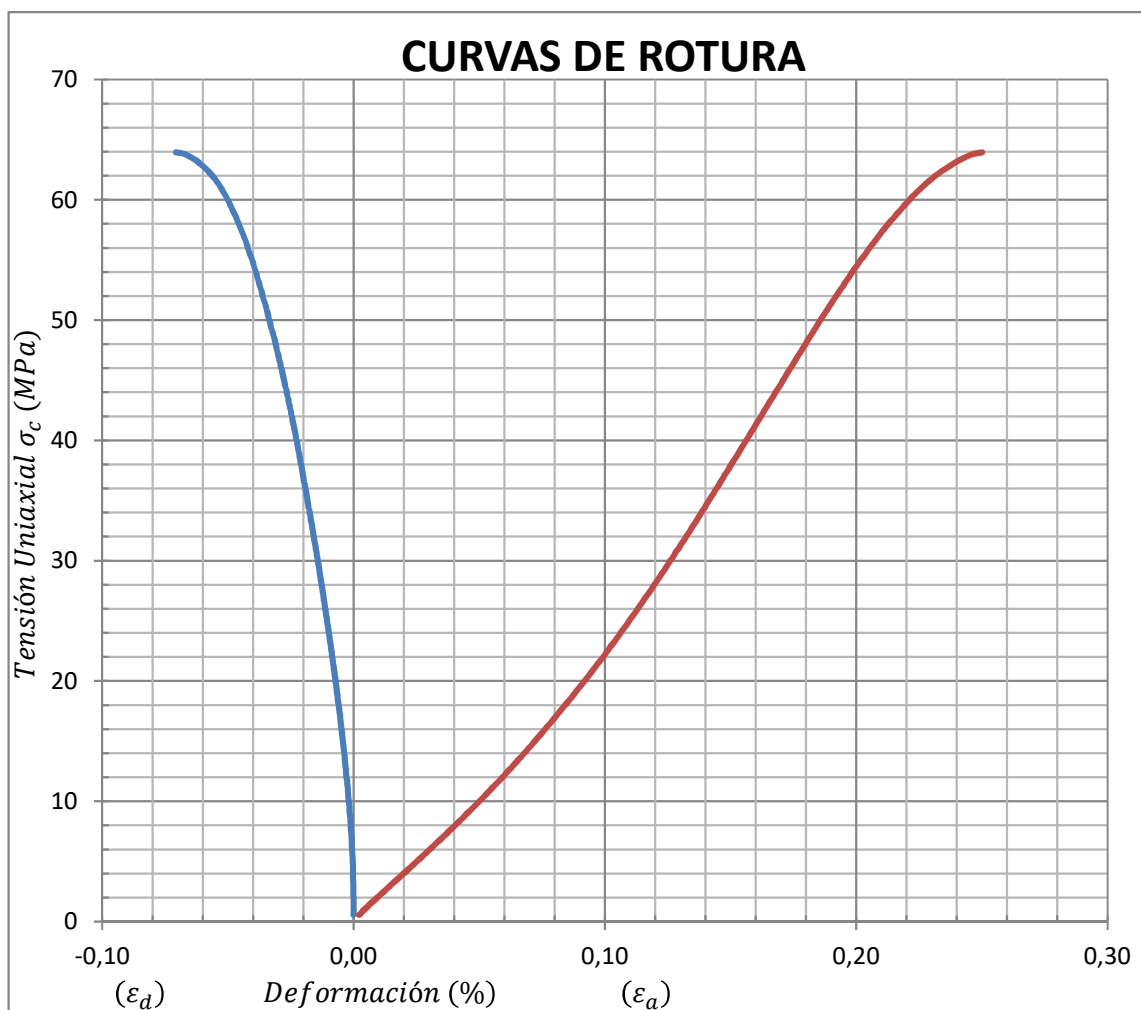
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael4

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>63,94</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	30,49
Coefficiente de Poisson	0,12
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00





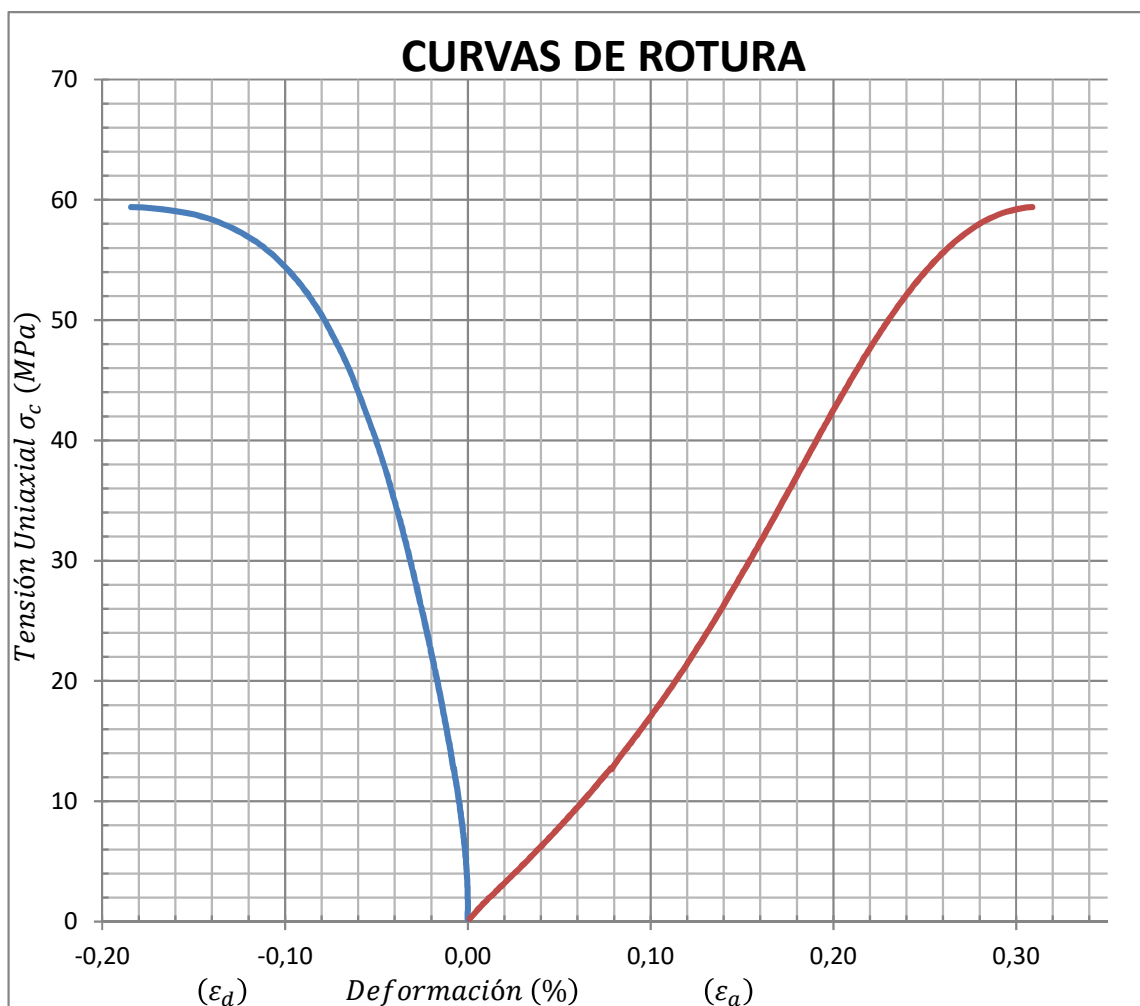
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael5

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>59,39</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	24,55
Coefficiente de Poisson	0,20
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



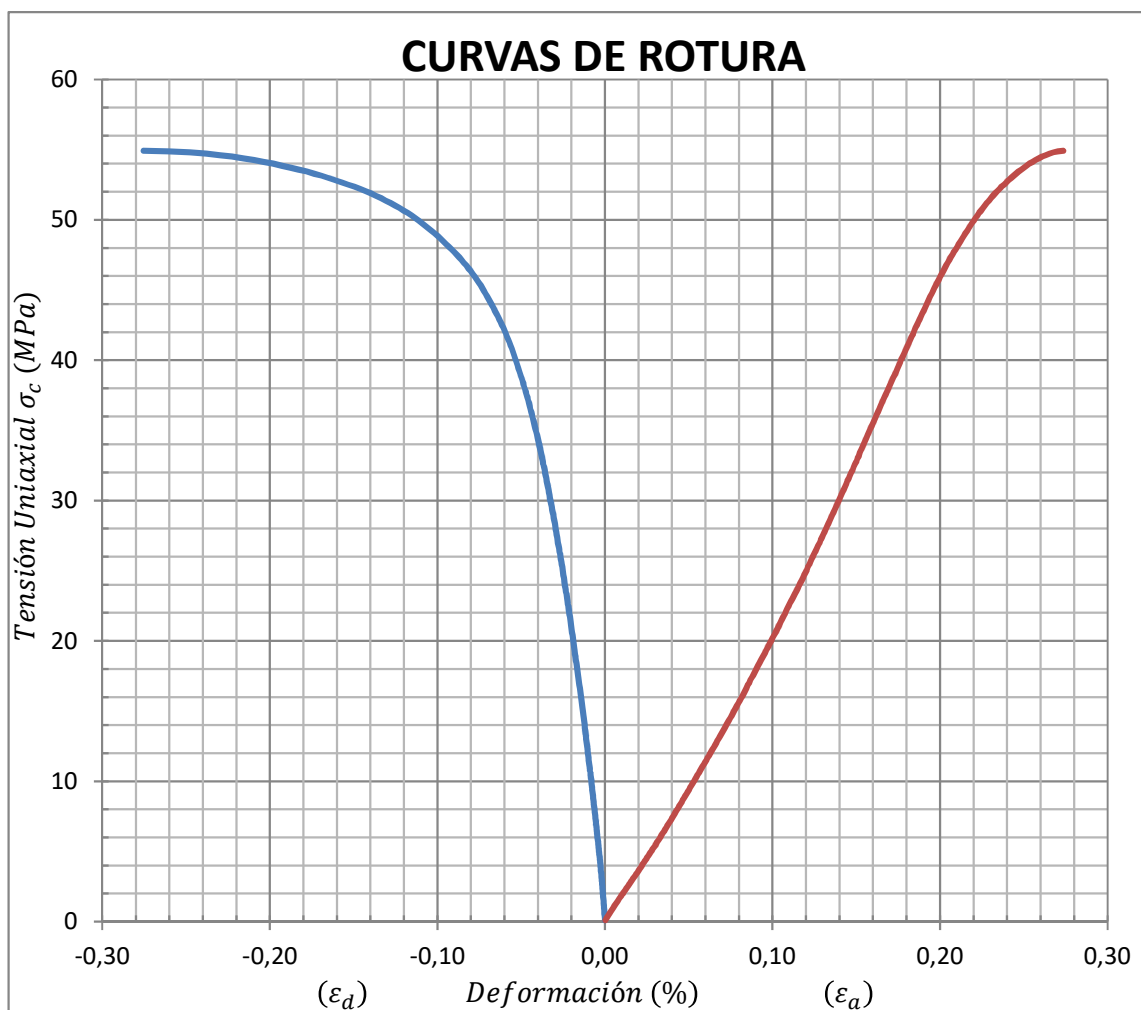
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

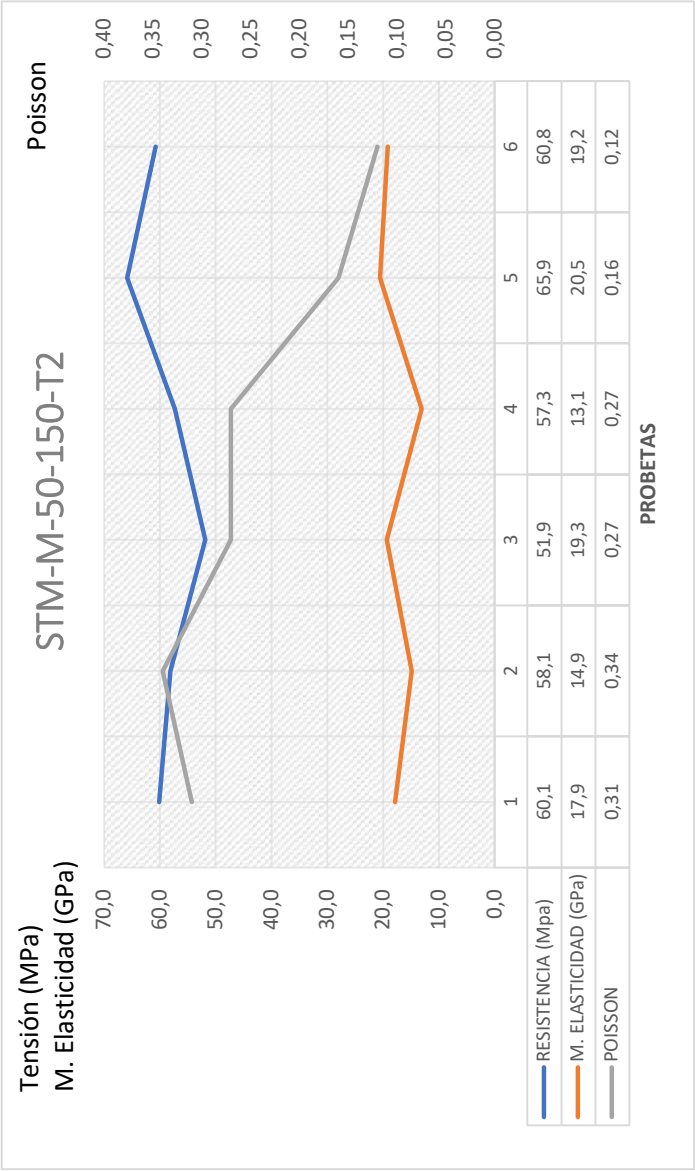
(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael6**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>54,92</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	24,34
Coefficiente de Poisson	0,23
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	150,00



ENSAYO COMPRESION UNIAXIAL EN ROCAS						
MARMOL MACAEL		T2	250°C			
PROBETA	POISSON	M. ELASTICIDAD (GPa)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA FILTRO (Mpa)	M. ELASTICIDAD FILTRO (GPa)	M. YOUNG/RESITENCIA
25	0,31	17,9	60,1	60,1	17,9	0,3
26	0,34	14,9	58,1	58,1	14,9	0,3
27	0,27	19,3	51,9	51,9	19,3	0,4
28	0,27	13,1	57,3	57,3	13,1	0,2
29	0,16	20,5	65,9	65,9	20,5	0,3
30	0,12	19,2	60,8	60,8	19,2	0,3
	0,25	17,5	59,0	59,0	17,5	0,3



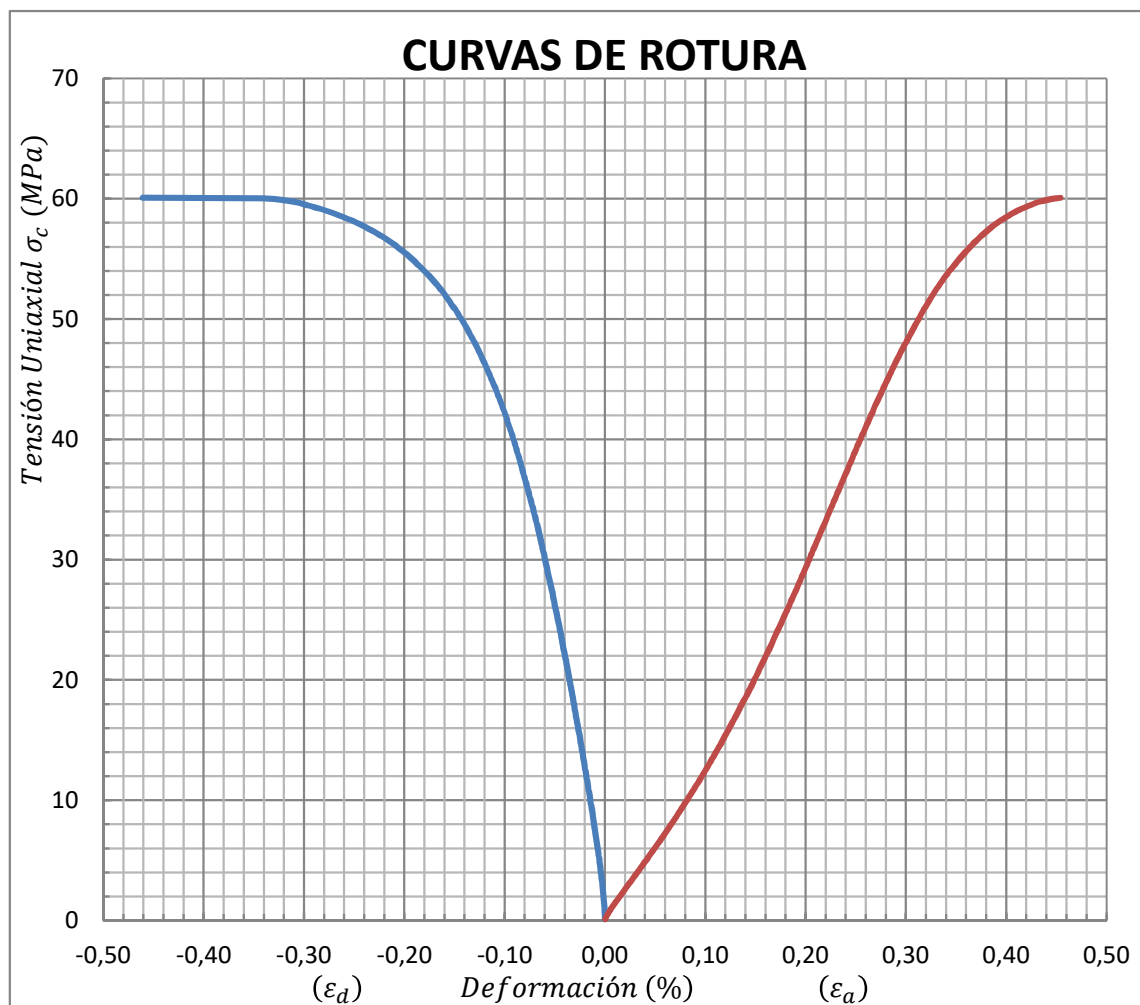
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael1

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>60,08</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	17,85
Coefficiente de Poisson	0,31
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



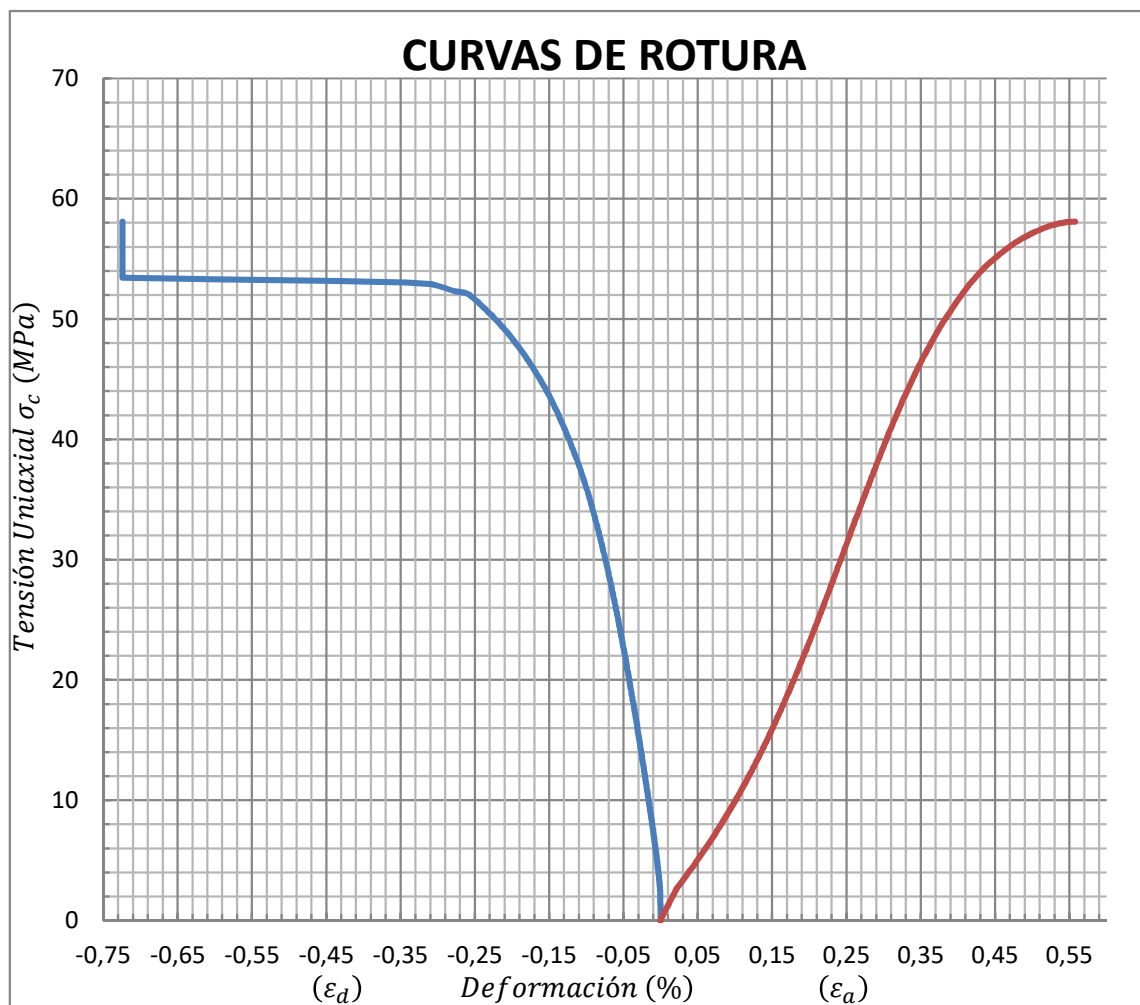
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael2

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>58,09</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	14,88
Coefficiente de Poisson	0,34
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



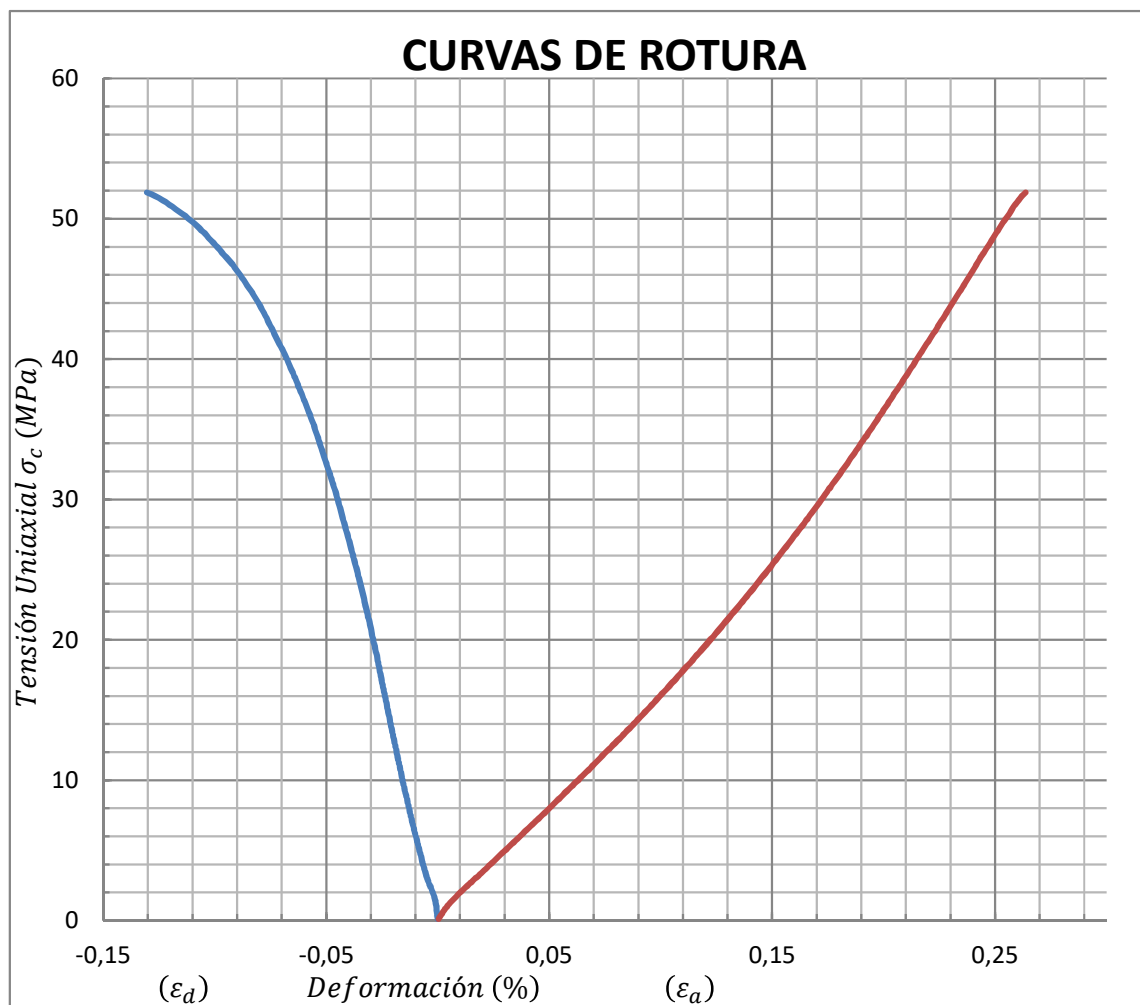
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael3**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>51,87</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,32
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



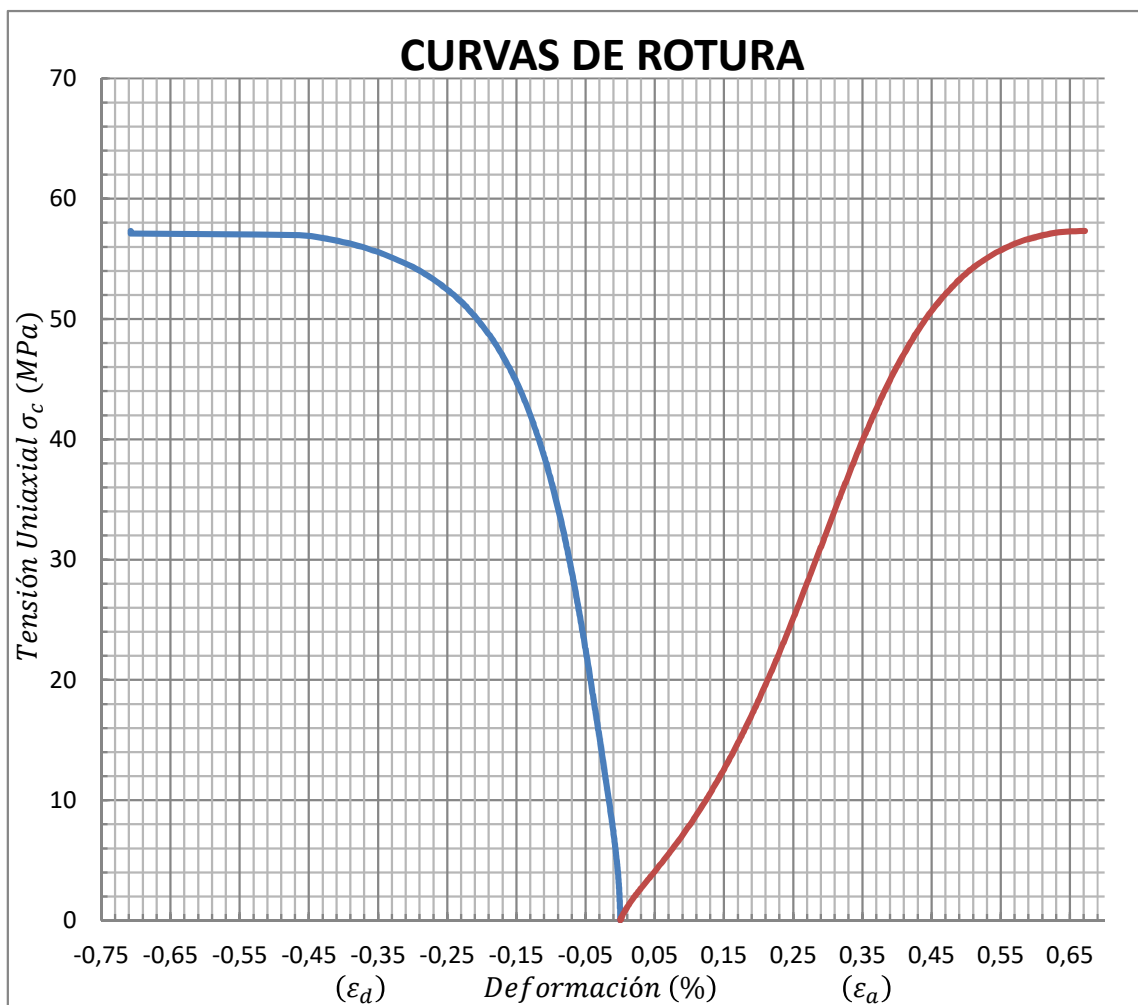
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael4**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>57,32</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	13,08
Coefficiente de Poisson	0,27
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00



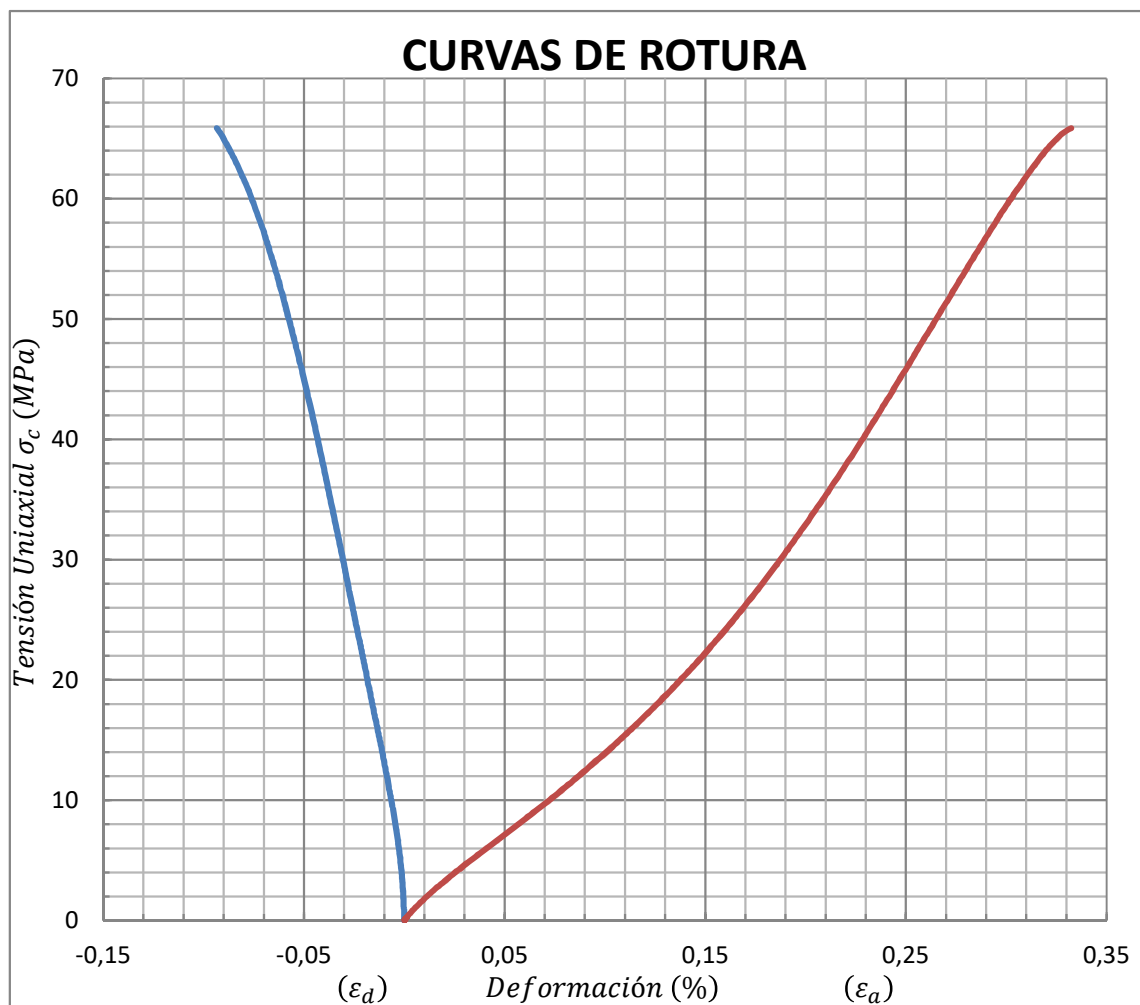
## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

**Muestra N°: Marmol-Macael5**

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>65,86</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	20,53
Coefficiente de Poisson	0,16
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00





## ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN ROCAS

Deformaciones medidas con bandas extensométricas

(UNE 22-950:1990) Parte 3

Muestra N°: Marmol-Macael6

Tipo de muestra	Testigo
Resistencia a la compresión uniaxial. $\sigma_c$ (MPa)	<b>60,75</b>
Modulo de Elasticidad (Gpa)	19,18
Coefficiente de Poisson	0,12
Velocidad del ensayo. (mm/min)	0,10
Temperatura (°C)	250,00

